



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PADA KARAKTERISTIK PRE-BREAKDOWN VOLTAGE DENGAN PENGUJIAN ISOLASI MINYAK TRAFO

Amanda Dwi Purwanti D
NRP 07111645000029

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Danar Fahmi S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR – TE 145561

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PADA KARAKTERISTIK
PRE-BREAKDOWN VOLTAGE DENGAN PENGUJIAN ISOLASI
MINYAK TRAFO**

Amanda Dwi Purwanti D
NRP 07111645000029

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Danar Fahmi S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

2018



FINAL PROJECT – TE 145561

ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT ON PRE-BREKADOWN VOLTAGE CHARACTERISTIC USING TRAFO OIL ISOLATION TESTING

Amanda Dwi Purwanti D
NRP 07111645000029

Advisor
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
Daniar Fahmi S.T., M.T

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMEN
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

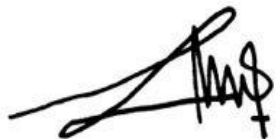
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Analisis Pengaruh Temperatur Pada Karakteristik *Pre-Breakdown Voltage* dengan Pengujian Isolasi Minyak Trafo**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 28 Juni 2018



Amanda Dwi Purwanti D
NRP 07111645000029

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

**ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PADA
KARAKTERISTIK *PRE-BREAKDOWN VOLTAGE* DENGAN
PENGUJIAN ISOLASI MINYAK TRAF0**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**r. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc
NIP. 197007121998021001**

**Daniar Fahmi, S.T., M.T
NIP. 198909252014041002**



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PADA KARAKTERISTIK *PRE-BREAKDOWN VOLTAGE* DENGAN PENGAJUAN ISOLASI MINYAK TRAFU

Nama : Amanda Dwi Purwanti D

Pembimbing : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc

ABSTRAK

Transformator daya adalah sebuah peralatan tegangan tinggi yang sangat penting dalam pembangkit tenaga listrik. pada trafo proses kerjanya sering mengalami sebuah hambatan, hal tersebut disebabkan timbul panas pada inti dan belitan trafo karena pemakaian secara terus menerus. panas yang timbul akibat rugi-rugi besi dapat mengurangi kekuatan dielektrik pada isolasi dan juga mengurangi masa umur pemakaian trafo. Media isolasi yang sering digunakan adalah isolasi cair jenis minyak. Kegagalan isolasi minyak berkaitan dengan adanya peristiwa *partial discharge*. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan nya analisis pengaruh temperatur pada karakteristik *pre-breakdown voltage* dengan pengujian isolasi minyak trafo. Pengujian ini dilakukan dengan memanaskan minyak ke dalam *microwave* dan setelah itu dilakukan pengambilan gambar proses terjadinya *pre-breakdown voltage* menggunakan kamera beresolusi tinggi, dan dilakukan bersamaan dengan merekam arus PD pada minyak trafo menggunakan *Current Transformer* (CT) sehingga dapat diketahui karakteristik arus pada saat fenomena *pre-breakdown voltage*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada variasi suhu 60°C fenomena *pre-breakdown voltage* pada tegangan 24kV dengan arus yang terukur sebesar 3 ampere, untuk variasi suhu 90°C fenomena *pre-breakdown voltage* pada tegangan 26kV dengan arus yang terukur sebesar 3,5 ampere, dan pada variasi suhu 120°C fenomena *pre-breakdown voltage* pada tegangan 34kV dengan arus yang terukur sebesar 4,7 ampere.

Kata Kunci: Minyak Trafo, Fenomena *pre-breakdown voltage*, Arus PD

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

ANALYSIS OF TEMPERATURE EFFECT ON PRE-BREAKDOWN VOLTAGE DENGAN PENGUJIAN ISOLASI MINYAK TRAF0

Name : Amanda Dwi Purwanti D

Advisor : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara S.T., M.Sc

ABSTRACT

The power transformer is a very important high voltage equipment in a power plant. The work process of the transformer is often subjected to an obstacle, due to the rise in temperature occurring at the core and winding of the transformer. The increase in temperature is caused by the continuous use of the transformer, thus affecting the isolation of the transformer. The most commonly used insulation is liquid oil type insulation. Failure of isolation of other transformer oil occurs due to decreased dielectric strength and duration of transformer usage. The failure of oil isolation is related to the presence of partial discharge events. Therefore, in this final assignment, he analyzed the influence of temperature on the characteristics of pre-breakdown voltage by testing the transformer oil insulation. This test is done by heating the oil into the microwave and then tested by capturing the process of pre-breakdown voltage using high resolution camera, and done simultaneously by recording current PD on transformer oil using current transformer (CT) so that can know the characteristic of current at the moment of phenomenon pre-breakdown voltage.

The test results show that the phenomenon of pre-breakdown voltage is influenced by temperature rise on transformer oil, ie at 60⁰C warming temperature pre-breakdown at voltage 22kV up to 28kV, at heating temperature 90⁰C at voltage 26kV to 34kV, and at heating temperature 120⁰C at voltage 32kV up to 42kV. The measured current at heating temperature 60⁰C for 3 amperes, heating temperature of 90⁰C current of 3.5 ampere and heating temperature of 120⁰C measured current of 4.7 amperes.

Keywords: Oil Trafo, Fenomena Pre-Breeakdown Voltage, Current PD

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Strata-1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul **“ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR PADA KARAKTERISTIK PRE-BREAKDOWN VOLTAGE DENGAN PENGUJIAN ISOLASI MINYAK TRAF0”**

Penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak I Made Yulistya Negara dan Bapak Daniar Fahmi atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya tugas akhir ini.
2. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro FTE-ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
3. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Djoko Mulyono dan Ibu Endang Purwatiningsih yang selalu memberikan nasehat, semangat dan doa kepada penulis sehingga tugas akhir ini bias terselesaikan tepat pada waktunya.
4. Untuk teman-teman seperjuangan LJ-2016 prodi TST yang mengambil tema tugas akhir yang sama, saya berterima kasih untuk semangatnya dan kekompakkannya untuk menyelesaikan tugas akhir ini bersama-sama
5. Untuk teman teman aslab laboratorium tegangan tinggi, terima kasih telah membantu mengajarkan dengan sabar proses pengujian tugas akhir ini dan dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
6. Untuk teman dekat saya panji harga susila terima kasih semangatnya dan membantu saya menyelesaikan tugas akhir ini.
7. Dan untuk seluruh teman-teman saya yang tidak tersebut yang membantu menyelesaikan tugas akhir ini, memberi semangat,

dukungan dan doa sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

Surabaya, 28 Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL COVER BIRU	i
HALAMAN JUDUL B.INDONESIA	iii
HALAMAN JUDUL B.INGGRIS	v
PERNYATAAN KEASLIHAN TUGAS AKHIR	vii
ABSTRAK	xi
<i>ABSTRACT</i>	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Laporan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB II TEORI PENUNJANG	 5
2.1 Kajian Pustaka	5
2.2 Isolasi Cair	5
2.2.1 Kegagalan isolasi cair	6
2.2.2 Mekanisme kegagalan isolasi cair	7
2.2.3 Kekuatan Dielektrik	7
2.2.4 <i>Partial Discharge</i>	8
2.3 Pembangkitan Tegangan Tinggi DC [5]	10
2.3.1 Besaran-Besaran Tegangan Tinggi DC	10
2.4 Fenomena <i>Pre-Breakdown Voltage</i> [3]	11
2.5 Gas Terlarut pada Minyak Trafo	14
 BAB III METODE PENELITIAN	 19
3.1 Rangkaian Pengujian <i>pre-breakdown voltage</i>	19
3.2 Peralatan Pengujian <i>pre-breakdown voltage</i>	22

3.2.1 Minyak Isolasi.....	22
3.2.2 Elektroda Uji.....	24
3.2.3 <i>Microwave</i>	24
3.2.4 Kamera Canon 60D.....	25
3.2.5 <i>Current Transformer</i> (CT) dan NI 9246	26
3.2.6 LabVIEW dan DIAdem	26
3.3 Prosedur Pengujian	27
3.3.1 Prosedur Penangkapan Fenomena.....	28
3.3.2 Prosedur Memperoleh Data Signal Arus PD.....	29
3.3.3 Prosedur Pengujian DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>).....	29
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS.....	33
4.1 Mekanisme Terjadinya Pengaruh Temperatur pada Fenomena <i>Pre-Brekadown Voltage</i> dengan Minyak Isolasi.....	33
4.1.1 Pengaruh Temperatur 60°C, 90°C dan 120°C pada Fenomena <i>pre-Breakdown Voltage</i>	33
4.2 Karakteristik Arus Pada Pengaruh Temperatur dalam Fenomena <i>Pre-Brekadown Voltage</i>	40
4.3 Karakteristik DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>) pada Pengaruh Temperatur dari Karakteristik Fenemena <i>Pre-Breakdown Voltage</i>	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
RIWAYAT HIDUP PENULIS	59
LAMPIRAN A	61
LAMPIRAN B.....	63

DAFTAR GAMBAR

	HALAMAN
Gambar 2.1 Rangkaian Dua Dielektrik Seri [5].....	8
Gambar 2.2 <i>Partial Discharge</i> isolasi cair [5].....	9
Gambar 2.3 Tegangan Gagal V_d dan Tegangan Pra Peluahan V_e tergantung pada ting	
Gambar 2.4 Mekanisme Korona Negatif [5]	12
Gambar 2.5 Mekanisme Korona Positif [5]	13
Gambar 2.6 Mekanisme Streamer [5]	13
Gambar 2.7 Mekanisme Leader [5]	14
Gambar 2.8 Pembentukan Skema Gas vs Temperatur (Aproksimasi) [10].....	16
Gambar 3.1 Alur Proses Pengujian Fenomena <i>Pre-Breakdown Voltage</i>	20
Gambar 3.2 Visualisasi Pengujian yang Dilakukan Laboratorium [6].....	20
Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Tegangan Tinggi DC [7]	21
Gambar 3.4 Visualisasi Pengujian Menggunakan Pembangkitan dc [7].....	21
Gambar 3.5 Minyak Shell Diala B.....	24
Gambar 3.6 Elektroda Uji yang di gunakan.....	24
Gambar 3.7 <i>Microwave Oxone</i>	25
Gambar 3.8 <i>IR Temperature</i>	25
Gambar 3.9 Kamera Canon 60D	25
Gambar 3.10 <i>Current Transformer</i>	26
Gambar 3.11 NI 9246	26
Gambar 3.12 Tampilan Signal Arus pada DIAdem.....	27
Gambar 3.13 Hasil Pengambilan Gambar	28
Gambar 3.14 Hasil Pemotongan Signal Arus Menggunakan Matlab ...	29
Gambar 3.15 Bentuk Syringe	30
Gambar 3.16 <i>Oil Flushing Unit</i>	30
Gambar 3.17 Alat Syringe <i>Shaker</i>	31
Gambar 3.18 Alat Pengujian DGA bermerek MYRKOS	31
Gambar 3.19 Tampilan Program Alat DGA	32
Gambar 3.20 Hasil yang Didapatkan Dalam Pengujian DGA.....	32
Gambar 4.1 Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 60°C dengan Tegangan 20kV (a), 22kV (b), 24kV (c), 26kV (d),	

	28kV sebelum <i>Breakdown</i> (e), dan 28kV Waktu <i>Breakdown</i> (f).....	34
Gambar 4.1	Lanjutan Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 60°C dengan Tegangan 20kV (a), 22kV (b), 24kV (c), 26kV (d), 28kV sebelum <i>Breakdown</i> (e), dan 28kV Waktu <i>Breakdown</i> (f).	35
Gambar 4.2	Hasil Sketsa Gambar Variasi suhu 60°C dengan Tegangan 20kV (a), 22kV (b), 24kV (c), 26kV (d), 28kV sebelum <i>Breakdown</i> (e), dan 28kV Waktu <i>Breakdown</i> (f).....	35
Gambar 4.3	Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 90°C dengan Tegangan 26kV (a), 28kV (b), 30kV (c), 32kV (d), 34kV waktu akan <i>breakdown</i> (e), dan 34kV Waktu <i>Breakdown</i> (f).....	36
Gambar 4.3	Lanjutan Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 90°C dengan Tegangan 26kV (a), 28kV (b), 30kV (c), 32kV (d), 34kV waktu akan <i>breakdown</i> (e), dan 34kV Waktu <i>Breakdown</i> (f).	37
Gambar 4.4	Hasil Sketsa Gambar Variasi suhu 90°C dengan Tegangan 26kV (a), 28kV (b), 30kV (c), 32kV (d), 34kV waktu akan <i>breakdown</i> (e), dan 34kV Waktu <i>Breakdown</i> (f).....	37
Gambar 4.5	Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 120°C dengan Tegangan 32kV (a), 34kV (b), 36kV (c), 40kV (d), 42kV waktu <i>Breakdown</i> (e), dan 42kV sesudah <i>Breakdown</i> (f).....	38
Gambar 4.5	Lanjutan Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 120°C dengan Tegangan 32kV (a), 34kV (b), 36kV (c), 40kV (d), 42kV waktu <i>Breakdown</i> (e), dan 42kV sesudah <i>Breakdown</i> (f).	39
Gambar 4.6	Hasil Sketsa Gambar Variasi suhu 120°C dengan Tegangan 32kV (a), 34kV (b), 36kV (c), 40kV (d), 42kV waktu <i>Breakdown</i> (e), dan 34kV sesudah <i>Breakdown</i> (f).....	39
Gambar 4.7	Variasi suhu 60°C pada tegangan 24kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)	41

Gambar 4.8	Variasi suhu 60°C pada tegangan 26kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	42
Gambar 4.9	Variasi suhu 60°C pada tegangan 28kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	43
Gambar 4.10	Arus yang terukur pada variasi suhu 60°C dari tegangan awal munculnya fenomena <i>pre-breakdown</i> voltage hingga terjadinya <i>breakdown</i> selama 180 detik .	43
Gambar 4.11	Variasi suhu 90°C pada tegangan 26kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	44
Gambar 4.12	Variasi suhu 90°C pada tegangan 28kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	45
Gambar 4.13	Variasi suhu 90°C pada tegangan 30kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	45
Gambar 4.13	Lanjutan Variasi suhu 90°C pada tegangan 30kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	46
Gambar 4.14	Variasi suhu 90°C pada tegangan 32kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	46
Gambar 4.15	Variasi suhu 90°C pada tegangan 34kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	47
Gambar 4.16	Arus yang terukur pada variasi suhu 90°C dari tegangan awal munculnya fenomena <i>pre-breakdown</i> voltage hingga terjadinya <i>breakdown</i> selama 315 detik .	48
Gambar 4.17	Variasi suhu 120°C pada tegangan 34kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	48
Gambar 4.18	Variasi suhu 120°C pada tegangan 36kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	49
Gambar 4.19	Variasi suhu 120°C pada tegangan 40kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c).....	50

Gambar 4.20	Variasi suhu 120°C pada tegangan 42kV , bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)	51
Gambar 4.21	Arus yang terukur pada variasi suhu 120°C dari tegangan awal munculnya fenomena <i>pre-breakdown</i> voltage hingga terjadinya <i>breakdown</i> selama 250 detik .	51

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1	Tegangan Tembus Minyak Transformator [8]	7
Tabel 2.2	Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator [10].....	15
Tabel 3.1	Spesifikasi Peralatan Pembangkitan [6]	22
Tabel 3.2	Minyak Isolasi Baru [8]	23
Tabel 4.1	Kandungan Gas Terlarut pada Variasi Suhu 60°C	52
Tabel 4.2	Kandungan Gas Terlarut pada Variasi Suhu 90°C	53
Tabel 4.3	Kandungan Gas Terlarut pada Variasi Suhu 120°C	53

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah media isolasi berfungsi sebagai pemisah antara dua atau lebih elektroda yang bertegangan [1]. Media isolasi yang biasa digunakan dalam peralatan listrik ialah media isolasi cair yaitu minyak trafo. Minyak trafo memiliki kelebihan yaitu kerapatannya 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga media isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) [2]. Kekurangan dari minyak trafo adalah mudah terkontaminasi, kontaminan dalam minyak dapat mempercepat terjadinya kegagalan. Kontaminan yang biasa terjadi pada minyak trafo ialah adanya partikel-partikel pejal, air, gelembung-gelembung gas dan suhu sekitar.

Pengaruh kenaikan suhu dalam minyak sangatlah besar, semakin tinggi kenaikan suhu minyak diatas suhu kerjanya dan berlangsung dalam jangka waktu yang lama maka dapat menyebabkan timbulnya gelembung-gelembung gas dalam minyak [3]. Semakin banyak gelembung-gelembung gas yang terbentuk karena medan listrik yang tinggi secara terus-menerus dapat mengakibatkan perburukan pada minyak. Bila ada gangguan pada belitan trafo yang terendam minyak maka timbul panas dan gelembung-gelembung gas dari minyak, kemudian gas yang terbentuk dapat naik ke rele buchholz. Jika kumulatif gas naik ke rele buchholz mencapai 200-300cc maka akan memberikan sinyal alarm dan bila gas yang terkumpul cukup tinggi secara cepat maka membran *over pressure* akan memberikan sinyal trip. Jika kenaikan temperatur dalam minyak yang berlebihan maka rele trip temperatur bekerja untuk mengetrikan trafo agar trafo dan peralatan yang terhubung lainnya dapat terproteksi dengan baik [4].

Dalam isolasi minyak trafo, gelembung-gelembung gas yang terbentuk akibat kenaikan temperatur sangat mempengaruhi *pre-breakdown voltage* menjadi lebih cepat. Dari penelitian sebelumnya telah membahas tentang karakteristik *pre-breakdown voltage* dengan pengujian isolasi minyak trafo didapatkan semakin tinggi tegangan yang dibangkitkan maka didapat nilai arus yang terukur semakin besar dan perubahan kondisi minyak semakin terlihat [6]. Oleh karena itu dari penelitian sebelumnya ditambah variabel pengaruh temperatur pada karakteristik *pre-breakdown voltage* dengan pengujian isolasi minyak trafo. Penentuan variasi suhu nya berdasarkan kondisi *full load* atau saat

kondisi suhu kerja normalnya yaitu berkisar suhu 60°C, kemudian berdasarkan temperatur setting signal alarmnya yaitu berkisar suhu 90°C dan ditentukan berdasarkan kemampuan *flash point* dalam minyak yaitu berkisar suhu 120°C. Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium tegangan tinggi Teknik Elektro-ITS, pengaruh temperaturnya dilakukan dengan cara minyak dipanaskan menggunakan *microwave*, minyak isolasi yang digunakan dalam kondisi baru, elektroda yang digunakan elektroda jarum-plat yang berjarak sela 2cm, penangkapan perkembangan streamer dalam minyak menggunakan kamera beresolusi tinggi dan pembangkitan yang digunakan ialah pembangkitan tegangan tinggi dc. Untuk perolehan data arus PD dilakukan dengan merekam signal arus PD menggunakan CT (*Current Transformer*) dan NI 9246 melalui *software* LabVIEW dan ditampilkan hasil perekaman arus menggunakan *software* DIAdem.

Analisis ini diharapkan sebagai referensi untuk produsen dan konsumen dalam mengetahui sifat atau karakteristik minyak trafo bila terdapat kondisi *pre-breakdown voltage* atau kondisi korona akibat adanya medan non homogen.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah melakukan pengamatan secara visual pada karakteristik *pre-breakdown voltage* ketika berbeda-beda suhu dan mengetahui gelombang arus PD.

1.3 Batasan Masalah

1. Dalam pengujian analisis karakteristik *pre-breakdown voltage* pada isolasi minyak menggunakan tegangan Tinggi dc
2. Jenis elektroda yang digunakan jarum-plat dengan jarak 2 cm.
3. Minyak isolasi yang digunakan minyak isolasi Shell Diala B.
4. Variasi suhu pemanasan minyak yaitu 60°C, 90°C, 120°C

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini ialah mengetahui karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* dengan memvariasi suhu yang berbeda-beda dan mengetahui terbentuknya streamer diantara elektroda jarum dan plat berbasis visual dan gelombang arus *partial discharge*.

1.5 Metodologi Penelitian

Dalam paper tugas akhir [6] menjelaskan analisis karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* dengan berbasis pengujian isolasi minyak trafo. Fenomena ini dapat mempengaruhi kinerja suatu media isolasi. Semakin cepat suatu media isolasi mengalami fenomena *pre-breakdown voltage* maka kekuatan dielektrik media isolasi tersebut mengalami penurunan. Dalam pengujian ini akan dilakukan pengamatan fenomena *pre-breakdown voltage* pada isolasi minyak dengan menggunakan pembangkitan tegangan tinggi dc skala laboratorium. Dalam proses pengujian, dilakukan pengukuran arus menggunakan software pada komputer di lab Tegangan Tinggi dan dalam waktu yang bersamaan dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera beresolusi tinggi agar mendapatkan gambar fenomena *pre-breakdown voltage*. Pengaruh nilai arus konduksi nantinya akan dicocokkan dengan gambar yang terambil oleh kamera pada isolasi minyak selama pengujian.

Dari pembahasan analisis sebelumnya dapat dikembangkan dengan melihat pengaruh temperatur saat dilakukan pengambilan gambar dengan menggunakan kamera yang beresolusi tinggi untuk melihat fenomena *pre-breakdown voltage* serta mengamati pengaruh arus konduksi pada saat suhu yang berbeda-beda.

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab pendahuluan, menjelaskan mengenai latar belakang pemilihan topik, perumusan masalah dan batasannya. Bab ini juga membahas mengenai tujuan penelitian, metodologi, sistematika laporan, dan relevansi dari penelitian yang dilakukan.

Bab II Teori Penunjang

Penjelasan mengenai komponen *hardware* maupun *software* pendukung dalam pengujian karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* yang dibahas pada bab ini. Pokok bahasan pada bab ini diantaranya, yaitu isolasi cair, kegagalan isolasi cair, mekanisme kegagalan isolasi cair, kekuatan dielektrik, *partial discharge*, pembangkitan tegangan tinggi dc,

fenomena *pre-breakdown voltage*, dan gas yang terlarut dalam minyak trafo.

Bab III Metode Pengujian

Pada bab ini, mengenai rangkaian pengujian *pre-breakdown voltage*, peralatan pengujian *pre-breakdown voltage*, prosedur pengujian fenomena *pre-breakdown voltage*.

Bab IV Hasil Pengujian dan Analisa Data

Hasil dari pengujian pengamatan fenomena *pre-breakdown voltage*, kenaikan arus PD dan pengujian DGA pada pengaruh pemanasan minyak trafo ddalam fenomena *pre-breakdown voltage*.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bagian bab penutup, dibahas mengenai kesimpulan dan saran dari hasil pengujian.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan sebagai pendeteksi dini pada trafo. Bila trafo mengalami pemanasan dalam proses kerjanya, minyak trafo dapat dengan baik mendinginkan trafo dan dari data yang diperoleh bahwa bila pemanasan pada trafo melebihi suhu yang seharusnya sehingga proses terjadinya kegagalan pada trafo akan semakin cepat dan umur trafo semakin berkurang.

BAB II

TEORI PENUNJANG

2.1 Kajian Pustaka

Pada literatur paper tugas akhir [5] menjelaskan analisis karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* dengan berbasis pengujian isolasi minyak trafo. Fenomena ini mempengaruhi kinerja suatu media isolasi. Semakin cepat suatu media isolasi mengalami fenomena *pre-breakdown voltage* maka kekuatan dielektrik media isolasi akan mengalami penurunan. Dari literature tersebut, ditambah pengaruh temperatur pada analisis pengujian karakteristik *pre-breakdown voltage* menggunakan isolasi minyak trafo. Pada pengamatan pengaruh temperatur ini, dilakukan dalam skala laboratorium dengan memvariasi suhunya berdasarkan data real temperatur minyak trafo. Pengujian yang dilakukan menggunakan minyak isolasi baru berjenis shell diala b, elektroda yang digunakan ialah elektroda jarum-plat yang berjarak sela 2cm, pembangkitan yang digunakan ialah pembangkitan tegangan tinggi dc, dan perekaman arus menggunakan CT (*Current Transformer*) dan NI 9246 melalui *software* LabVIEW yang hasilnya ditampilkan menggunakan *software* DIAdem. Dalam proses pengujian, proses perekaman *signal* arus PD dilakukan dalam waktu yang bersamaan dengan proses penangkapan fenomena *pre-breakdown voltage* dengan menggunakan kamera beresolusi tinggi. Pengaruh nilai arus konduksi nantinya akan dicocokkan dengan gambar yang terambil oleh kamera pada isolasi minyak selama pengujian.

2.2 Isolasi Cair

Isolasi cair berfungsi sebagai pemisah antara bagian yang bertegangan dan yang tidak bertegangan, selain itu juga berfungsi sebagai pendingin pada peralatan-peralatan listrik seperti transformator, kapasitor dan pemutus daya (*circuit breaker*). Isolasi cair juga dapat memperbaiki dirinya sendiri (*self healing*) apabila terjadi kerusakan pada isolasi sehingga tidak ada kerusakan permanen pada isolasi cair tersebut. Isolasi cair sering digunakan karena memiliki kerapatan jenis 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi, isolasi cair dapat mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi [1]. Adapun sifat-sifat listrik yang menentukan kerja bahan isolasi cair, yaitu:

- a. Tembus listrik
Yaitu kemampuan untuk tidak mengalami tembus listrik dalam kondisi tekanan listrik (*electric stress*) yang tinggi.
- b. Kapasitansi listrik per unit *volume*.
Kapasitansi listrik per unit *volume* menentukan permitivitas relatifnya. Pada minyak petroleum biasanya memiliki permitivitas relatif 2 sampai 2,5 sedangkan untuk minyak silikon 2 sampai 73 dan asrekal 4,5 sampai 5,0.
- c. Faktor disipasi ($\tan \delta$)
Faktor disipasi adalah faktor yang menentukan besarnya rugi-rugi dielektrik pada bahan isolasi yang dikenai tegangan bolak-balik (AC). Faktor disipasi merupakan parameter yang penting b. Minyak transformator murni pada frekuensi 50 Hz memiliki faktor disipasi sebesar 10^{-4} pada suhu 20°C dan 10^{-3} pada 90°C .
- d. Resistivitas
Suatu cairan dapat digolongkan sebagai isolasi cair bila resistivitasnya lebih besar dari $10^9 \Omega\cdot\text{m}$. Pada sistem tegangan tinggi, resistivitas yang diperlukan untuk material isolasi adalah $10^{16} \Omega\cdot\text{m}$ atau lebih.

2.2.1 Kegagalan isolasi cair

Isolasi berfungsi sebagai pemisah pada bagian-bagian yang mempunyai beda tegangan agar diantara bagian-bagian tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau percikan. Isolasi cair dipengaruhi pada trafo, rangkaian pemutus atau CB, kondensator, kabel, dan lain sebagainya. Karakteristik pada isolasi minyak trafo akan berubah jika terjadi ketidakmurnian didalamnya. Hal ini dapat mempercepat terjadinya proses kegagalan. Kegagalan isolasi cair dipengaruhi oleh tegangan yang tinggi dengan waktu yang cepat sehingga proses terjadinya breakdown voltage akan semakin cepat. Kegagalan isolasi ini berkaitan dengan adanya *partial discharge*. Kegagalan pada isolasi cair disebabkan adanya kavitasi, yaitu butiran pada zat cair yang terkontaminasi dengan material isolasi cair. Tabel 2.1 dapat dilihat nilai tegangan tembus pada minyak isolasi baru dan minyak isolasi lama.

Tabel 2.1 Tegangan Tembus Minyak Transformator [8]

Tegangan Operasi (kV)	Untuk Minyak Isolasi Baru	Untuk Minyak Isolasi Lama
	IEC 156 (kV/2,5 mm)	IEC 156 (kV/2,5 mm)
> 170	≥ 50	≥ 50
70 – 170	≥ 50	≥ 40
< 70	≥ 50	≥ 30

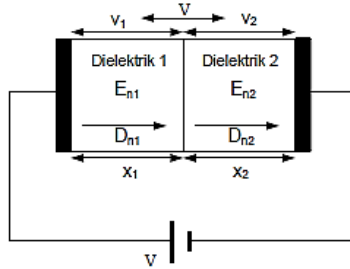
Bilamana batasan standard diatas dilewati agar difilter ulang, bilamana *breakdown voltage* sudah tidak dapat dinaikkan lagi ($< 0,5$ ppm, *moisture* < 150 ppm, *dielectric strength* < 30 kV) sebaiknya minyak diganti.

2.2.2 Mekanisme kegagalan isolasi cair

Isolasi cair sering digunakan karena isolasi cair ini memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum paschen. Isolasi cair mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi. Isolasi cair cenderung memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*). Kekurangan pada media isolasi ini adalah mudah terkontaminasi. Beberapa hal yang mempengaruhi kegagalan minyak trafo adalah luas daerah elektroda, jarak celah, pendinginan, perawatan sebelum pemakaian, pengaruh kekuatan dielektrik dari minyak trafo serta kondisi pengujian juga mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak trafo.

2.2.3 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik ialah suatu material yang dapat tahan terhadap tegangan tinggi tanpa terjadinya kegagalan [2]. Suatu kekuatan dielektrik ini tergantung pada atom dan molekul itu sendiri. Dalam prakteknya kekuatan dielektrik tergantung pada material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan juga yang dapat mengubah sifat molekul cairan. Pada isolasi cair, kekuatan dielektrik setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi. Dalam upaya memberikan gambaran tentang kekuatan dielektrik maka akan lebih memudahkan bila dua dielektrik seri ditinjau. Dalam hal ini medan dianggap seragam, arus bocor diabaikan dan konsentrasi fluks pada pinggiriran juga diabaikan. Pada gambar 2.1 adalah rangkaian dua dielektrik seri.



Gambar 2.1 Rangkaian Dua Dielektrik Seri [5]

$$D = \epsilon_0 \cdot x E_0 \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan

- D : perpindahan electron
E : kuat medan listrik
 ϵ : permitivitas relative suatu bahan

Dengan syarat-syarat batas perpindahan elektron netral sama.

$$D_{n1} = D_{n2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Maka

$$\epsilon_1 E_{n1} = \epsilon_2 E_{n2} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$E_{n1,2} = \frac{v_{1,2}}{x_{1,2}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan

- $v_{1,2}$: Tegangan tiap dielektrik
 $x_{1,2}$: Tebal tiap dielektrik

$$v_{1,2} = \frac{v}{(1 + \frac{x_{2,1} \cdot \epsilon_{1,2}}{x_{1,2} \cdot \epsilon_{2,1}})} \dots \dots \dots (2.5)$$

Jika n buah dielektrik dalam hubungan seri maka gradient atau kuat medanya pada titik x adalah

$$E_{nx} = \frac{v}{\epsilon_x (\frac{x_1}{\epsilon_1} + \frac{x_2}{\epsilon_2} + \frac{x_3}{\epsilon_3})} \dots \dots \dots (2.6)$$

Menurut ketetapan kekuatan dielektrik isolasi udara mulai gagal saat 31,7kV/cm, isolasi minyak pada saat 128kV/cm dan pada isolasi padat saat 295-314 kV/cm.

2.2.4 Partial Discharge

Partial discharge (peluhan parsial) [4] adalah peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian

isolasi (pada rongga dalam atau pada permukaan) sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut. *Partial discharge* dapat terjadi pada bahan isolasi padat, bahan isolasi cair maupun bahan isolasi gas. Mekanisme kegagalan pada bahan isolasi padat meliputi kegagalan asasi (intrinsik), elektro mekanik, streamer, thermal dan kegagalan erosi. Kegagalan pada bahan isolasi cair disebabkan oleh adanya kavitasi, adanya butiran pada zat cair dan tercampurnya bahan isolasi cair. Pada bahan isolasi gas mekanisme *townsend* dan mekanisme streamer merupakan penyebab kegagalan. Dari uraian di atas menunjukkan bahwa kegagalan isolasi ini berkaitan dengan adanya *partial discharge*.

Dalam tugas akhir ini *partial discharge* terjadi pada bahan isolasi cair yaitu pada minyak trafo. Fenomena *partial discharge* disebabkan karena medan listik berkumpul pada salah satu titik yang memiliki bentuk lebih runcing, dimana proses peluahan tersebut tidak sampai menghubungkan kedua elektroda secara sempurna. Beberapa macam faktor yang mempengaruhi peluahan minyak trafo yaitu luas daerah elektroda, jarak sela (*gap spacing*), pendinginan, pengkontaminasian, perawatan sebelum pemakaian (elektroda dan minyak). Pada gambar 2.2 ditunjukkan suatu gelembung udara dalam dielektrik cair yang berada dalam medan dielektrik. *Volume* gelembung udara (X_u) relatif sangat kecil dibandingkan *volume* dielektrik cair (x_1 dan x_2).



Gambar 2.2 *Partial Discharge* isolasi cair [5]

Beberapa factor-faktor yang mempengaruhi mekanisme *partial discharge* pada isolasi cair yaitu:

a. Partikel

Dalam peristiwa *partial discharge* ketidakmurnian memegang peranan penting pada sebuah isolasi termasuk adanya partikel.

Partikel-partikel debu atau serat seluloas dari sekeliling dielektrik padat tertinggal dalam cairan. Hal tersebut bila diberikan pada suatu medan listrik maka partikel akan terpolarisasi. Jika partikel memiliki permitivitas ϵ_2 yang lebih besar dari permitivitas cairan ϵ_1 , timbul suatu gaya yang akan terjadi pada partikel tersebut mengarah pada daerah yang memiliki tekanan elektrik maksimum diantara elektroda-elektroda. Jika partikel tersebut dalam kondisi lembab atau basah maka gaya yang timbul akan makin kuat karena permitivitas air tinggi. Partikel yang lain akan tertarik ke daerah yang bertekanan tinggi hingga partikel-partikel tersebut bertautan satu dengan lainnya karena adanya medan.

b. Air

Air yang dimaksud ini bukan partikel yang lembab melainkan air ini timbul pada saat isolasi minyak sedang beroperasi. Pada saat kondisi normal atau kondisi operasi nilai kelembaban cenderung dibatasi hingga nilainya kurang dari 10%. Medan listrik menyebabkan tetesan air yang tertahan di dalam minyak akan memanjang sarah dengan medan dan pada saat medan yang kritis tetesan menjadi tidak stabil.

c. Gelembung

Sebuah gelembung terbentuk karena adanya kantung-kantung gas dalam lubang atau retakan permukaan elektroda, penguraian molekul-molekul cairan menghasilkan gas atau dengan penguatan cairan lokal melalui emisi elektron dari ujung tajam katoda. Gaya elektrostatis sepanjang gelembung segera terbentuk dan ketika kekuatan kegagalan gas lebih rendah dari cairan, maka di dalam gas sudah terjadi peluahan elektrik sedangkan isolasi cair masih dapat menahannya.

2.3 Pembangkitan Tegangan Tinggi DC [5]

Tegangan tinggi dc biasanya digunakan untuk pengujian peralatan-peralatan atau komponen transmisi tegangan tinggi. Dalam penelitian bidang fisika kita jumpai penggunaan tegangan tinggi dc pada "*particle accelerator*" dan mikroskop. Tegangan tinggi dc pada umumnya dibangkitkan dengan menggunakan rangkaian penyearah (dioda) apabila diperlukan arus yang besar ($>10\text{mA}$).

2.3.1 Besaran-Besaran Tegangan Tinggi DC

Besaran-besaran yang terdapat pada tegangan tinggi dc, antara lain:

- a. Polaritas, dalam hal ini polaritas tegangan dc yakni dc positif dan negatif memberikan pengaruh yang berbeda pada pengujian bahan isolasi tegangan tinggi.
- b. Amplitude didefinisikan sebagai nilai rata-rata aritmatika (*arithmetic mean value*)

$$v = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \dots \dots \dots (2.7)$$

- c. Ripple didefinisikan sebagai;

$$\delta_v = \frac{v_{maks} - v_{min}}{2} \dots \dots \dots (2.8)$$

- d. Faktor ripple;

$$\frac{\delta v}{\bar{v}} \dots \dots \dots (2.9)$$

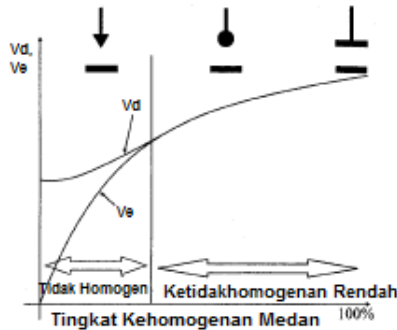
IEC 60, faktor ripple < 3%

- e. Pembangkitan umumnya konversi ac ke dc dengan menggunakan penyearah (rectifier).

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa pembangkitan tegangan tinggi dc menggunakan rangkaian penyearah, dimana didalamnya terdapat komponen dioda sebagai pengubah tegangan ac menjadi tegangan searah.

2.4 Fenomena *Pre-Breakdown Voltage* [3]

Suatu fenomena yang terjadi pada saat proses kegagalan atau *breakdown voltage* suatu bahan isolasi biasanya disebut fenomena *pre-breakdown voltage* atau dapat disebut juga dengan pra peluahan. Penyebab terjadinya suatu kegagalan pada sebuah isolasi dipengaruhi oleh udara sekitar, kontaminan, jenis bahan isolasi, jenis elektroda dan kekuatan dielektrik dari bahan isolasi tersebut. Untuk melihat fenomena *pre-breakdown voltage* biasanya digunakan elektroda jenis medan tak seragam yang artinya elektroda yang memiliki bentuk tidak sama misalnya elektroda jarum-plat. Digunakannya medan yang tidak seragam agar terbentuknya pra peluahan atau korona pada daerah medan yang tinggi. Dibawah ini gambar 2.3 adalah macam-macam karakteristik tingkat kehomogeman medan pada tegangan *breakdown* dan tegangan *pre-breakdown voltage*.

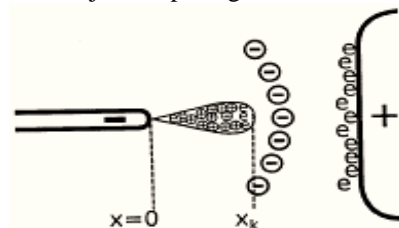


Gambar 2.3 Tegangan Gagal V_d dan Tegangan Pra Peluahan V_e tergantung pada tingkat kehomogenan medan [5]

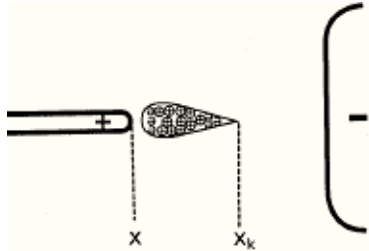
Bila ditingkatkan tegangannya pra peluahan tersebut akan berkembang menjadi peluahan yang dapat menghubungkan kedua elektroda. Secara umum peluahan streamer yaitu pada jarak sela elektroda jarum plat dan tegangan yang diinjeksikan berkembang menjadi leader. Pra peluahan terjadi karena terbentuknya muatan ruang pada elektroda jarum kemudian terjadi pergerakan electron dan ion sehingga terjadi interaksi antara medan muatan ruang dan membentuk muatan ruang pada ujung elektroda jarum. Tahap-tahap proses terjadinya pra peluahan pada elektroda yang tidak seragam atau elektroda jarum:

a. Korona

Fenomena korona timbul karena ketidakseragaman medan pada suatu peralatan tegangan tinggi. Korona yang terlihat pada tegangan positif yaitu timbul dalam bentuk lapisan putih kebiruan pada permukaan elektroda. Korona terdiri dari dua fenomena yaitu korona jarum negative plat dan korona jarum positif plat. Mekanisme korona negative dan positif ditunjukkan pada gambar 2.4 dan gambar 2.5



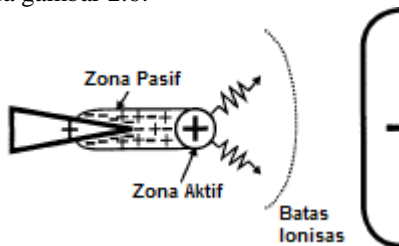
Gambar 2.4 Mekanisme Korona Negatif [5]



Gambar 2.5 Mekanisme Korona Positif [5]

b. Streamer

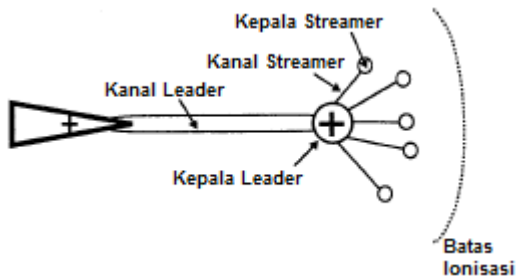
Prinsip peluahan streamer berawal dari electron pada daerah medan yang tinggi ($E > E_0$) di ujung katoda akan menyebabkan luruhan karena jumlah pembawa muatan N akan lebih besar 10^8 , menyebabkan radiasi photon dan meningkatkan medan local. Dibelakang ekor luruhan, timbul luruhan baru yang terbentuk dari medan dasar yang meningkat karena muatan ruang semakin tinggi. Zona pasif antara kepala stramer dan anoda seolah netral dan penghantar terlihat lemah karena electron terserap pada anoda dan ion positif tetap berada ruang medan yang membentuk perpanjangan jarum. Proses mekanisme peluahan streamer dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mekanisme Streamer [5]

c. Leader

Prinsip perkembangan leader positif terdiri dari kanal leader, kepala leader dan korona leader. Dalam kanal leader terdapat kerapatan arus yang relative tinggi menyebabkan tingginya temperature gas dan ionisasi termal. Hal ini akan menyebabkan kerapatan pembawa muatan yang relative tinggi dengan jumlah electron dan ion positif yang sama. perkembangan leader sangat ditentukan oleh energy yang dialirkan melalui arus leader sehingga temperature leader yang diperlukan untuk ionisasi termal dapat dipertahankan. Gambar mekanisme leader dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Mekanisme Leader [5]

d. Kegagalan atau *breakdown voltage*

Tegangan tembus (*breakdown voltage*) merupakan suatu peristiwa bila medan magnet dinaikkan (tegangan terus-menerus dinaikkan) maka atom-atom akan terionisasi dan proses terionisasi akan sampai batas kemampuan isolator tersebut untuk menahan tegangan. Sehingga isolator tersebut akan berubah menjadi konduktor. Saat proses kritis ini disebut dengan tegangan tembus atau *breakdown voltage*. Pengujian terhadap tegangan tembus diperlukan untuk mengetahui titik kritis dari media isolasi gas, isolasi padat dan isolasi cair.

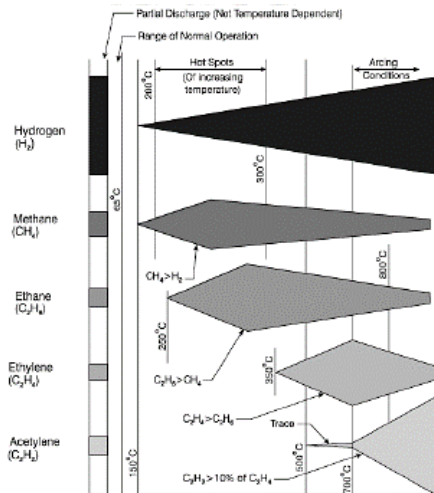
2.5 Gas Terlarut pada Minyak Trafo

Minyak trafo merupakan sebuah campuran kompleks dan molekul-molekul hidrokarbon, dalam bentuk linier atau siklis, yang mengandung kelompok molekul CH_3 , CH_2 , dan CH yang terikat [10]. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur C-H dan C-C sebagai hasil dari kegagalan termal ataupun elektrik akan menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H^* , CH_3^* , CH_2^* , CH^* , atau C^* , yang nantinya akan berekombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hydrogen (H-H), metana ($\text{CH}_3\text{-H}$), etana ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) ataupun asetilen ($\text{CH}\equiv\text{CH}$). Gas-gas ini dikenal dengan istilah *fault gas*.

Tabel 2.2 Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator [10]

Mineral Oil	$ \begin{array}{c} \text{H H H H H H H H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H H H H H H H H} \end{array} $	$\text{C}_2\text{H}_{2n+2}$
Hydrogen	$\text{H}-\text{H}$	H_2
Methane	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} $	CH_4
Ethane	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	C_2H_6
Ethylene	$ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{C}=\text{C} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} $	C_2H_4
Acethylene	$\text{H}-\text{C}=\text{C}-\text{H}$	C_2H_2
Carbon Dioxida	$\text{O}=\text{C}=\text{O}$	CO_2
Carbon Monoxida	$\text{C} \equiv \text{O}$	CO
Oxygen	$\text{O}=\text{O}$	O_2
Nitrogen	$\text{N} \equiv \text{N}$	N_2

Dalam unsur-unsur pada minyak trafo semakin banyak jumlah ikatan karbon (ikatan tunggal, ganda, rangkap tiga) sehingga semakin banyak pula energi yang dibutuhkan untuk menghasilkannya. Hidrogen (H_2), metana (CH_4) dan etana (C_2H_6) terbentuk oleh fenomena kegagalan dengan tingkat energi yang rendah, seperti *partial discharge* atau *corona*. Etilen (C_2H_4) terbentuk oleh pemanasan minyak pada temperatur menengah, dan asetilen (C_2H_2) terbentuk oleh pemanasan minyak pada temperatur menengah dan asetilen (C_2H_2) terbentuk pada temperatur yang sangat tinggi. Jenis kegagalan gas dan jumlah molekul yang terbentuk saat temperaturnya semakin naik. Gas hidrogen dan metana terbentuk pada temperature sekitar 150°C , gas etana mulai terbentuk pada temperature sekitar 250°C , gas etilen terbentuk pada temperature sekitar 350°C , gas asetilen memiliki indikator pada daerah yang temperaturnya paling tidak 700°C . Pada gambar 2.8 menjelaskan proses setelah melewati batas titik maksimumnya maka proses pembentukan gas metana, etana dan etilen akan terus menurun seiring dengan bertambahnya temperatur.



Gambar 2.8 Pembentukan Skema Gas vs Temperatur (Aproksimasi) [10]

Kegagalan termal atau *hot spot* pada temperatur 500°C, hal tersebut dapat memicu pembentukan gas asetilen walaupun dalam nilai ppm yang kecil. Gas asetilen menghasilkan temperature yang tinggi diatas 700°C disebabkan karena adanya busur api (*internal arcing*). Gas etana dan gas etilen ditemukan pada saat trafo timbul logam panas. Logam panas timbul mungkin saja karena terjadi kontak yang buruk pada saat *tap charger* atau sambungan yang kurang bagus pada sebuah rangkaian trafo. Fluks magnetis bocor mengenai tangki trafo atau struktur magnetis lainnya dapat memacu pembentukan “gas logam panas”. Penyebab lainnya gas etilen dan gas etana muncul karena adanya kerusakan pada pentanahan rangkaian (*grounding*) sehingga muncul arus lebih yang bersirkulasi karena tidak dapat dibuang ke tanah. Kegagalan lain yang muncul pada trafo yaitu timbul karena adanya gabungan dari kegagalan termis dan elektris ataupun kegagalan yang dipicu karena faktor lainnya.

Material isolasi kertas dan kertas biasa memiliki subtansi polimer yang struktur kimianya adalah $[C_{12}H_{14}O_2(OH)_6]_n$ nilai n berkisar antara 300 sampai 750. Umumnya berbentuk siklis yang mengandung senyawa karbondioksida, karbon monoksida dan karbon. Ikatan molekul C-O merupakan ikatan yang lemah, sehingga akan menghasilkan komponen pembentuk *fault gas* pada temperatur hanya 100°C dan karbonisasi sempurna dan isolasi kertas pada temperatur 300°C. Karbon dioksida

memiliki temperatur yang rendah, sedangkan karbon mulai terbentuk pada temperature $\geq 200^{\circ}\text{C}$. Senyawa-senyawa gas lain seperti nitrogen dan oksigen dapat muncul pada minyak. Nitrogen muncul akibat sisa N_2 pada saat pengiriman trafo. Munculnya oksigen umumnya diakibatkan karena adanya kebocoran tangki trafo dan penurunan oksigen pada minyak disebabkan karena kenaikan temperature yang berlebih pada trafo. Air embun dan gas atmosfer dapat masuk kedalam trafo saat dimatikan dan saat temperatur ambient menurun.

Menganalisis dan mengidentifikasi jumlah *fault gas* pada trafo sangatlah penting karena dapat menunjukkan pemicu atau jenis kegagalan yang muncul sedangkan jumlah atau tingkat konsentrasi *fault gas* menunjukkan seberapa parah tingkat kegagalan. Hal tersebut tentunya dapat menjadi informasi yang sangat berguna dalam penyusunan program perawatan pencegahan atau biasa disebut *preventive maintenance*.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

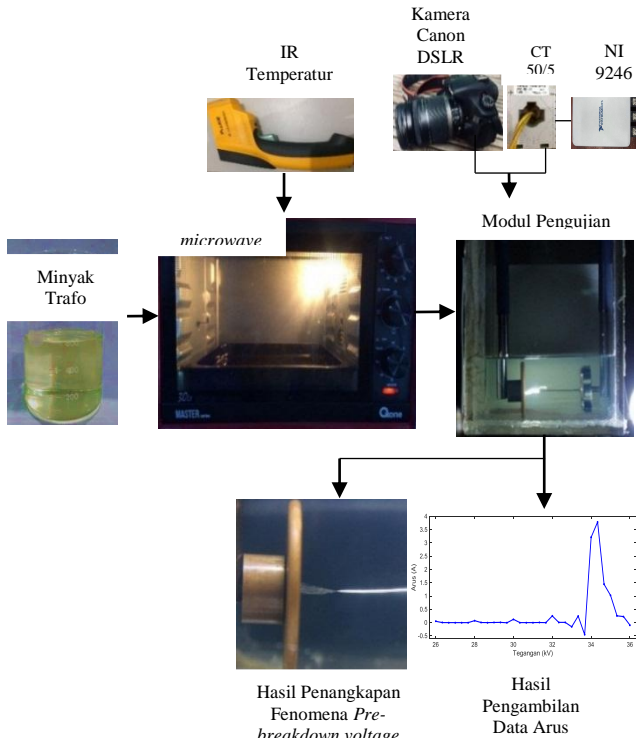
BAB III METODE PENGUJIAN

Pada bab ini akan dibahas dua hal yaitu yang pertama mengenai alat pengujian untuk mendapatkan karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* pada isolasi minyak dan proses pengambilan data yang dilakukan. Yang kedua mengenai pengujian *Dissolve Gas Analysis* (DGA) yang dilakukan pada PT. Bambang Djaja Transformer (B&D) untuk mengetahui nilai gas terlarut dalam minyak dengan berbeda-beda suhu pemanasan.

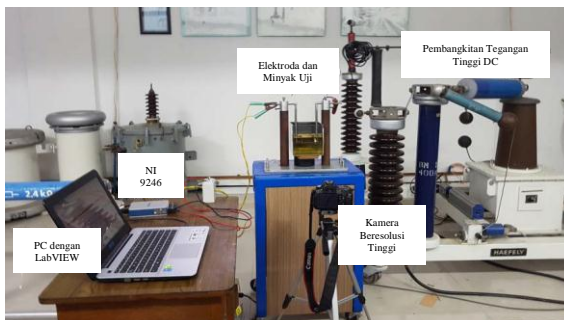
3.1 Rangkaian Pengujian *pre-breakdown voltage*

Pada analisis tugas akhir ini memiliki langkah-langkah dalam memperoleh karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* pada isolasi minyak. Langkah-langkahnya yang pertama siapkan minyak trafo dalam *breaker* untuk proses pemanasan awal kemudian panaskan minyak dengan berbeda-beda suhu pemanasannya, diukur suhu pada *breaker* menggunakan *ir* temperatur. Sembari menunggu pemanasan *breaker* pada suhu yang diinginkan, lakukan persiapan pengambilan gambar dan perekaman data arus dengan mempersiapkan kamera dan tripotnya yang sudah disetting dekat dengan modul pengujian dan untuk kabel pembangkitan sisi negatif telah terpasang CT 50/5 yang dihubungkan dengan NI 9246 sebagai peraman signal arus PD.

Proses selanjutnya bila suhu yang diinginkan sudah mencapai suhu yang diinginkan, *breaker* dapat dikeluarkan dari *microwave*, kemudian minyak dalam *breaker* dipindah pada wadah kotak berbahan akrilik berukuran 20x20x16 cm dan seteah itu wadah berbahan akrilik yang sudah berisi minyak diletakkan dalam modul pengujian yang sudah disiapkan. Proses selanjutnya dilakukan penangkapan gambar serta penangkapan signal arus PD. Proses pengujian karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* dan hasil penangkapan gambar serta signal arus PD dapat dilihat pada gambar 3.1. Visualisasi proses pengujian mengetahui fenomena *pre-breakdown voltage* ditunjukkan pada gambar 3.2.



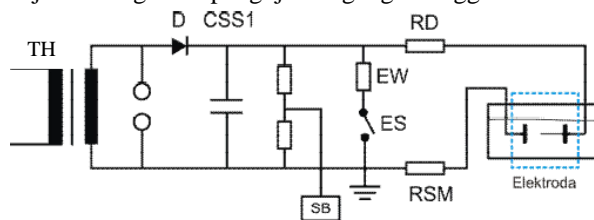
Gambar 3.1 Alur Proses Pengujian Fenomena *Pre-Breakdown Voltage*



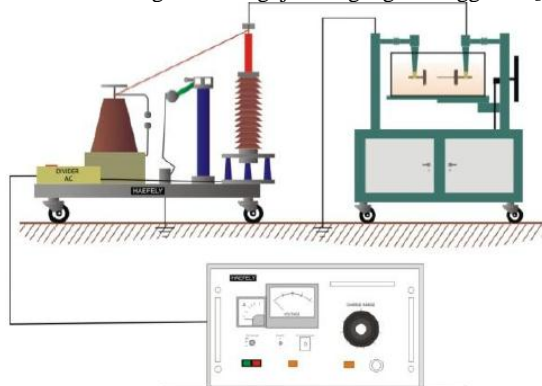
Gambar 3.2 Visualisasi Pengujian yang Dilakukan Laboratorium [6]

Dari gambar 3.1 dan 3.2 dapat dilihat bahwa Peralatan yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* dibedakan menjadi dua yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras memiliki fungsi untuk mendapatkan hasil yang berupa data lalu di akusisikan perangkat keras. Perangkat keras meliputi: Modul pengujian *Breakdown Voltage* (BDV), elektroda uji, pembangkitan tegangan tinggi, Current Transformer (CT), NI arus 9246, kamera canon 60D, minyak shell diala b, personal komputer. Sedangkan perangkat lunak memiliki fungsi sebagai pengolah data yang dapat ditampilkan dilayar. Perangkat lunak meliputi: LabVIEW dan DIAdem.

Pembangkitan tegangan tinggi di analisa ini menggunakan pembangkitan tegangan tinggi dc. Menggunakan pembangkitan tegangan tinggi dc fungsinya untuk mengetahui perkembangan streamer pada karakteristik *pre-breakdown voltage* dalam minyak isolasi. Gambar 3.3 menunjukan rangkaian pengujian tegangan tinggi dc.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Tegangan Tinggi DC [7]



Gambar 3.4 Visualisasi Pengujian Menggunakan Pembangkitan dc [7]

Pengujian menggunakan pembangkitan tegangan tinggi dc dilakukan di laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro ITS. Pada gambar yang ditunjukkan di gambar 3.3 memiliki beberapa peralatan yaitu HV transformer (TH) berfungsi sebagai trafo *step-up*, HV dioda (D) berfungsi sebagai penyearah tegangan, *coupling capacitor* (CSS1) berfungsi untuk mengurangi ripple tegangan, *measuring resistor* (RM1) berfungsi sebagai *range* pengisian tegangan atau pembangkitan tegangan yang diberikan untuk pengujian, *resistor damping* (RD) berfungsi sebagai pembangi tegangan, *grounding* (EW, ES) berfungsi sebagai pengaman dari peralatan pembangkitan dan *control box* (SB) berfungsi sebagai pengatur dalam pembangkitan tegangan. Spesifikasi peralatan pembangkitan tegangan dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Spesifikasi Peralatan Pembangkitan [6]

<i>HV Transformer</i> (TH)	80kV rms, 5kVA
<i>HV Diode</i> (D)	100kV, 20mA
<i>Coupling Capacitor</i> (CSS1)	100kV, 20mA
<i>Measuring Resistor</i> (RM1)	200kV DC, 800M Ω
<i>Resistor Damping</i> (RD)	6k Ω
<i>Grounding Resistor</i> (EW)	200kV DC, 25k Ω
<i>Grounding Switch</i> (ES)	
<i>Control Box</i> (SB)	Tipe 273

3.2 Peralatan Pengujian *pre-brekdawn voltage*

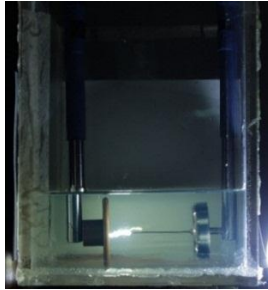
3.2.1 Minyak Isolasi

Minyak isolasi yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah minyak shell diala b dalam kondisi minyak baru. Minyak shell diala b sering digunakan dalam sebuah bahan isolasi transformator. Minyak shell diala b termasuk jenis minyak mineral. Minyak mineral adalah minyak bumi yang telah melalui proses destilasi untuk mendapatkan komposisi minyak yang diinginkan. Minyak isolasi memiliki komposisi yaitu paraffin 40% sampai 60%, *aromate* 5% sampai 20%, *naphthene* 30% sampai 50% dan olefin 1%. Jenis minyak shell diala b memiliki sifat dielektrik yang baik sehingga minyak ini tahan terhadap degradasi oksidatif yang artinya pembentukan asam dan lumpur serta viskositas yang rendah tersebar dengan mudah untuk memberikan perpindahan panas yang lebih efisien. Adapun spesifikasi minyak isolasi baru ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Minyak Isolasi Baru [8]

N o	Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Klas 1	Klas 2	Metode Uji	Tempat Uji
1.	Kejernihan	-	Jernih		IEC 296	Ditempat / Lab
2.	Masa Jenis (20°C)	g/cm ³	< 0,895		IEC 296	
3.	Viskositas 20°C Kinematik - 15°C	cSt	≤ 40 ≤ 800	≤ 25 -	IEC 296	Lab
4.	Titik Nyala	°C	-	≤ 1800	IEC 296A	Lab
5.	Titik Tuang		≥ 140	≥ 130		Lab
6.	Angka Kenetralan	mg KOH/g	≤ -30	≤ -40	IEC 296	Ditempat / Lab
7.	Titik Korosi	-	< 0,03		IEC 296	
8.	Tegangan Tembus	kV / 2,5mm	Titik Korosif		IEC 156 dan IEC 296	Ditempat / Lab
a.	sebelum diolah		≥ 30			
b.	sesudah diolah		≥ 50			
9	Factor Kebocoran Dielektrik	-	≤ 0,05		IEC 250	Lab
10	Ketahanan Oksidasi				IEC 474 dan IEC 74	Lab
-	Angka Kenetralan					
-	Kotoran	mg KOH / g%	≤ 0,4			-
-			≤ 0,1		-	-

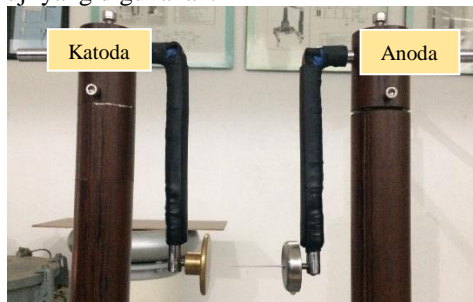
Minyak shell diala b yang dibutuhkan dalam pengujian ini sebanyak 1,5 liter dan minyak tersebut di tuang dalam wadah yang berukuran 20x20x16 cm dengan ketebalan 8mm. wadah pengujian terbuat dari bahan akrilik. Gambar 3.5 menunjukkan wadah berbahan akrilik untuk proses pengujian.



Gambar 3.5 Minyak Shell Diala B

3.2.2 Elektroda Uji

Elektroda uji yang digunakan dalam pengujian ialah elektroda medan tak seragam. Elektroda medan tak seragam terdiri dari elektroda jarum dan elektroda plat. Elektroda ini terbuat dari *stainless steel* dan tembaga. Dalam pengujian elektroda jarum dihubungkan ke kutub positif atau bagian anoda sedangkan elektroda plat dihubungkan ke kutub negatif atau bagian katoda. Jarak sela antara elektroda jarum dengan elektroda plat yaitu 2cm. dibawah ini adalah bentuk visual dari elektroda jarum dan elektroda plat. Gambar 3.6 menunjukkan modul pengujian dan elektroda uji yang digunakan.



Gambar 3.6 Elektroda Uji yang di gunakan

3.2.3 Microwave

Dalam mengamati perbedaan suhu pada karakteristik *pre-breakdown voltage*, minyak isolasi trafo dipanaskan terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian. Minyak isolasi dipanaskan menggunakan *microwave* dengan suhu yang berbeda-beda. Suhu yang dianalisa dalam tugas akhir ini adalah suhu 60°C, suhu 90°C, dan suhu 120°C. Dalam

tugas akhir ini *microwave* yang digunakan merek Oxone yang berkapasitas maksimal 30 liter dan suhu maksimal nya sampai 230°C. Untuk mengetahui panas minyak isolasi sudah sesuai yang akan diuji dan diamati menggunakan alat *IR temperature*. visualisasi bentuk dari *microwave* Oxone dan *IR temperature* dapat dilihat pada gambar 3.7 dan gambar 3.8.



Gambar 3.7 *Microwave Oxone*



Gambar 3.8 *IR Temperature*

3.2.4 Kamera Canon 60D

Dalam pengambilan gambar perkembangan streamer pada minyak isolasi diperlukan kamera yang berspesifikasi tinggi. Kamera yang digunakan dalam adalah kamera canon 60D. Kamera ini dapat menghasilkan gambar perkembangan streamer dengan baik. Gambar 3.9 menunjukkan bentuk fisik dari kamera canon DSLR 60 D.



Gambar 3.9 Kamera Canon 60D

3.2.5 Current Transformer (CT) dan NI 9246

CT dan NI arus dalam pengujian tugas akhir ini berfungsi sebagai peralatan akuisisi data. CT atau trafo arus adalah sistem peralatan tenaga yang berfungsi sebagai pengubah skala arus listrik pada saat pengukuran arus. Dalam pengujian ini CT atau trafo arus akan dihubungkan ke NI arus 9246 yang sebagai alat akuisisi data atau pembacaan pengukuran data berupa arus. Pada gambar 3.10 dan 3.11 menunjukkan bentuk CT 50/5 dan NI arus 9246 yang digunakan dalam analisis pengujian ini.



Gambar 3.10 Current Transformer



Gambar 3.11 NI 9246

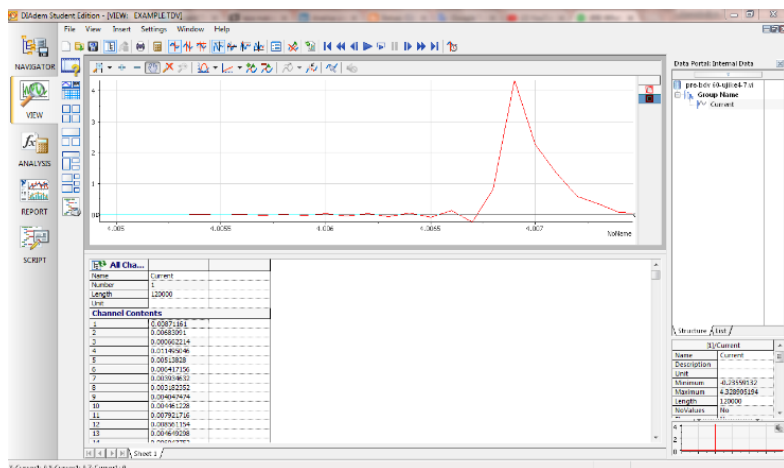
3.2.6 LabVIEW dan DIAdem

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai *interface* dari National Instrument (NI) 9246 untuk arus. LabVIEW dikenal dengan sebutan *virtual instrument*. *Personal Computer* (PC) digunakan untuk menampilkan data arus dari NI 9246. LabVIEW berfungsi sebagai perekam arus dan bentuk arus saat pengujian berlangsung. DIAdem berfungsi sebagai menampilkan bentuk signal

arus dari awal terjadinya *pre-breakdown voltage* hingga mencapai arus maksimal *pre-breakdown voltage*.

Pemrograman yang digunakan untuk mengambil data adalah blok diagram yang terdiri atas DAQ Assistant, waveform graph dan stop. Data yang terekam oleh LabVIEW akan berformat .tdms yang nantinya dapat diolah dengan menggunakan *software* diadem. DAQ Assistant digunakan untuk mengatur keluaran sinyal yang diinginkan. Wavefront graph digunakan untuk menampilkan sinyal yang terekam oleh LabVIEW.

DAQ Assistant memiliki beberapa pengaturan yang dilakukan. Pengaturan tersebut berupa *acquisition mode*, *sample to read*, *rate(kHz)*, *custom scaling*, dan *logging*. Acquisition mode yang digunakan adalah *continuous samples* dengan *sample to read* 10k dan Rate(Hz) 10k. *Custom scaling* disesuaikan dengan CT yang memiliki *scaling* 50/5. *Logging* diatur untuk menyimpan file pada lokasi yang diharapkan. Tampilan signal arus pada DIAdem yang ditunjukkan oleh gambar 3.12.



Gambar 3.12 Tampilan Signal Arus pada DIAdem

3.3 Prosedur Pengujian

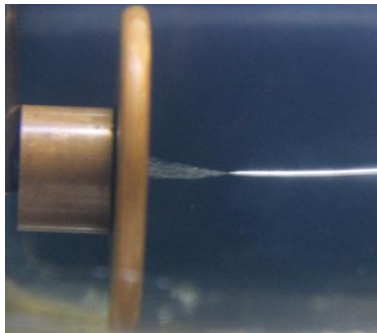
Terdapat beberapa prosedur pengujian dalam penelitian ini yaitu prosedur pengambilan gambar *pre-breakdown voltage*, prosedur pengambilan data arus dan prosedur pengujian DGA.

3.3.1 Prosedur Penangkapan Fenomena

Pada prosedur pengambilan gambar bertujuan untuk mengetahui setiap perubahan bentuk pada minyak isolasi saat tegangan *supply* dinaikkan. Proses pengambilan gambar ini menggunakan kamera beresolusi tinggi yaitu kamera canon 60D. Di gunakannya kamera beresolusi tinggi ini untuk mendapatkan gambar perkembangan streamer yang terlihat jelas dan jernih. Kamera yang digunakan memiliki spesifikasi kecepatan pengambilan gambar 5 *frame per second* dengan resolusi 5184 x 3456 *pixels*. Dengan *frame shutter speed* atau kecepatan menangkap gambar 30-1/8000 detik.

Sebelum proses pengambilan gambar minyak isolasi terlebih dahulu dipanaskan kemudian minyak siap untuk diuji. Proses pengambilan gambar dilakukan ketika minyak mengeluarkan bunyi desis dan ketika nilai tegangan mendekati nilai *breakdown voltage*, tanda-tanda tersebut adalah proses sebelum terjadinya *breakdown voltage*. Metode pengambilan gambar menggunakan mode *continuous shooting* yang tujuan menangkap beberapa gambar dalam waktu singkat. Proses pengambilan gambar ini didapatkan gambar yang cukup banyak dalam sekali pengujian.

Proses pengambilan gambar dan proses pengambilan data arus dilakukan bersama-sama agar hasil yang didapatkan dapat sesuai dengan arus yang terukur. Gambar 3.13 menunjukkan hasil pengambilan gambar menggunakan kamera beresolusi tinggi.

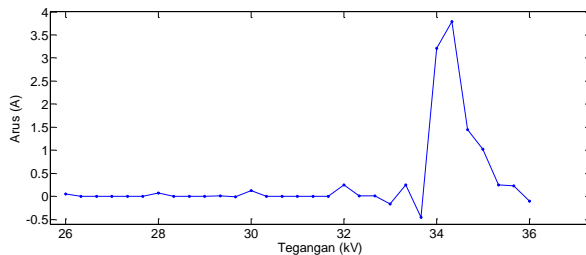


Gambar 3.13 Hasil Pengambilan Gambar

3.3.2 Prosedur Memperoleh Data Signal Arus PD

Prosedur memperoleh data arus dilakukan pada kondisi yang sama dengan prosedur penangkapan gambar yaitu ketika minyak isolasi mulai berdesis dan nilai tegangan mendekati nilai *breakdown voltage*. Siklus mendapatkan data dilakukan dengan memulai tombol start pada LabVIEW dan dalam waktu yang bersamaan juga dilakukan penangkapan gambar oleh kamera dengan interval waktu 1 menit. Siklus tersebut berlaku juga untuk setiap kenaikan tegangan hingga mencapai keadaan *breakdown voltage*.

Setelah memperoleh data arus, data yang diperoleh secara otomatis akan tersimpan dalam format tdms. File dalam format tdms dapat dibaca dan diolah menggunakan bantuan *software* DIAdem. Memotong sinyal yang akan difilter menggunakan matlab. Pemotongan sinyal dilakukan perlu dilakukan karena data yang diambil tersimpang terlalu banyak. Berikut ini gambar 3.14 hasil pemotongan sinyal dengan matlab.



Gambar 3.14 Hasil Pemotongan Sinyal Arus Menggunakan Matlab

3.3.3 Prosedur Pengujian DGA (*Dissolved Gas Analysis*)

Pengujian DGA dilakukan di PT. Bambang Djaja Rungkut-Surabaya. Alat DGA yang digunakan bermerek MYRKOS. Pengujian DGA dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan gas yang terlarut pada minyak isolasi yang telah dilakukan pemanasan dan telah diuji *breakdown voltage*. Proses pengujian gas terlarut mengacu pada standar ASTM 3612 dan IEC 60599-2007-05. Uji DGA dilakukan pada sampel minyak yang telah disiapkan dari hasil pengujian *pre-breakdown voltage*. Sampel nya terdiri dari minyak yang dipanaskan 60°C, minyak yang dipanaskan 90°C dan minyak yang dipanaskan 120 derajat *celcius*. Sebelumnya sampel minyak isolasi setelah dilakukan pengujian *pre-breakdown voltage* disimpan dalam botol yang berwarna gelap yang

bervolume 200ml dan diletakkan di suhu ruangan atau suhu ambient (30°C).

Tata Cara Pengambilan Sampel Minyak Isolasi yaitu:

1. Peralatan uji disiapkan terlebih dahulu di meja kerja
2. Sebelum menyuntikan syringe ke minyak, sambungkan terlebih dahulu syringe dan selang agar mempermudah pengambilan minyak dalam botol. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.15



Gambar 3.15 Bentuk Syringe

3. Ambil minyak sedikit dahulu, kemudian kocok syringe agar minyak tidak terkontaminasi dengan minyak pengujian sebelumnya dan menghindari sisa-sisa gas yang terdapat pada syringe. Kemudian dibuang dan dilakukan sampai 3 kali. Setelah itu suntikan kembali syringe pada botol minyak sampel pertama sampai penuh. Proses tersebut dilakukan dengan tindakan yang sama pada sampel 2 dan sampel 3.
4. Setelah 3 sampel minyak sudah disuntikkan ke syringe, kemudian dilakukan pembersihan gas yang memungkinkan terdapat dalam syringe. Alat tersebut dinamakan oil flushing unit, yang ditunjukkan pada gambar 3.16



Gambar 3.16 Oil Flushing Unit

Proses pembersihan sisa gas menggunakan *oil flushing unit* dilakukan pada 3 syringe dan dicek apakah masih ada gas-gas dalam syringe.

5. Kemudian syringe diletakkan pada alat syringe shaker yang fungsi untuk mendapatkan CO₂ pada minyak. Proses syringe shaker

dilakukan selama kurang lebih selama 2 menit. Pada gambar 3.17 menunjukkan alat syringe shaker



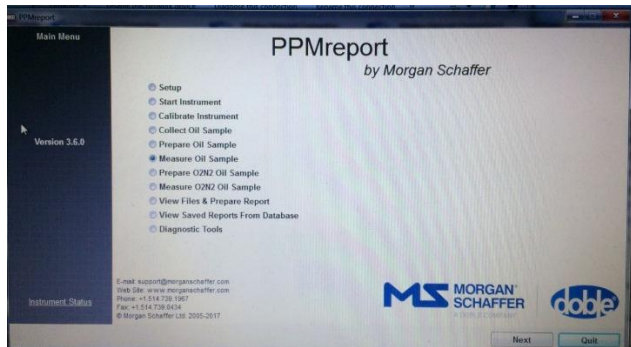
Gambar 3.17 Alat Syringe Shaker

6. Setelah dari *shaker test*, 3 syringe dibersihkan lagi menggunakan *oil flushing unit* untuk mengecek adakah timbul sisa-sisa gas lain.
7. Kemudian mulailah dilakukan pengujian DGA, sebelum dimulai syringe dipasang oil trap terlebih dahulu dan kemudian dipasang ke alat uji DGA. Gambar proses pengujian DGA dapat ditunjukkan pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 Alat Pengujian DGA bermerek MYRKOS

8. Setelah disasng syringe dalam myrkos kemudian *run* menggunakan program yang sudah ada dari bawaan alatnya. Setelah proses selesai hasil data gas yang terlarut dalam minyak dapat dilihat dalam *report* monitor.



Gambar 3.19 Tampilan Program Alat DGA

Step 8: Oil Sample Results

	H ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂
Oil #1 (ppm)	0	0	1 (< LDL)	1403	0	0	0

Note: Choose **Repeat** to perform another oil run, or **Accept** to use the selected data.

Divul Triangle Repeat Accept Cancel

Gambar 3.20 Hasil yang Didapatkan Dalam Pengujian DGA

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Bab ini dibagi menjadi tiga bagian. Pada bagian pertama dijelaskan mengenai mekanisme terjadinya pengaruh temperatur pada fenomena *pre-breakdown voltage* dengan minyak isolasi yang ditunjukkan dalam bentuk gambar perkembangan streamernya. Pada bagian kedua dijelaskan mengenai kenaikan arus pada pengaruh temperatur dalam fenomena *pre-breakdown voltage*. Pada bagian ketiga dijelaskan mengenai hasil pengujian DGA pada pengaruh fenomena *pre-breakdown voltage* dan pengaruh temperatur dengan variasi nilai yang berbeda-beda.

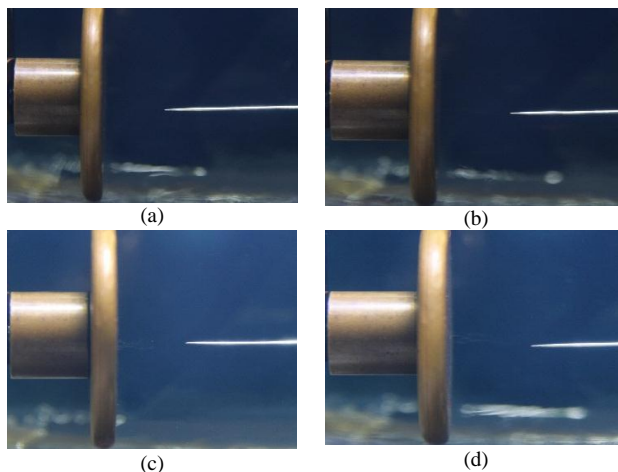
4.1 Mekanisme Terjadinya Pengaruh Temperatur pada Fenomena *Pre-Breakdown Voltage* dengan Minyak Isolasi

Mekanisme penangkapan fenomena *pre-breakdown voltage* dan perolehan data arus dilakukan pada saat proses menuju kegagalan pada media isolasi minyak. Proses pengambilan gambar fenomena *pre-breakdown voltage* dilakukan menggunakan kamera beresolusi tinggi yang fungsinya untuk memperoleh gambar dengan hasil yang bagus dan fokus pada serat yang muncul dalam minyak, sehingga proses perubahan minyak dapat diamati saat pengujian sedang berlangsung. Dalam membangkitkan tegangan tinggi dc sebagai sumber tegangan utama dalam pengujian ini, di sambungkan dengan modul pengujian yang telah terpasang elektroda uji dan minyak yang diletakkan dalam wadah berbahan akrilik. Kenaikan tegangan dilakukan secara bertahap, dan ketika terdengar suara desis pada minyak, kenaikan tegangan menjadi lebih lambat agar perkembangan streamer dalam minyak dapat ditangkap oleh kamera.

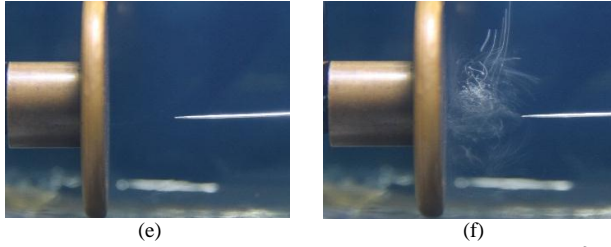
4.1.1 Pengaruh Temperatur 60°C, 90°C dan 120°C pada Fenomena *pre-Breakdown Voltage*

Penentuan variasi suhu nya berdasarkan kondisi *full load* atau saat kondisi suhu kerja normalnya yaitu berkisar suhu 60°C, kemudian berdasarkan temperatur setting signal alarmnya yaitu berkisar suhu 90°C dan ditentukan berdasarkan kemampuan *flash point* dalam minyak yaitu berkisar suhu 120°C. Didapatkan hasil foto dengan gambar yang baik dan dilakukan sketsa gambar ulang menggunakan corel untuk memudahkan pembaca dalam melihat proses perkembangan streamer.

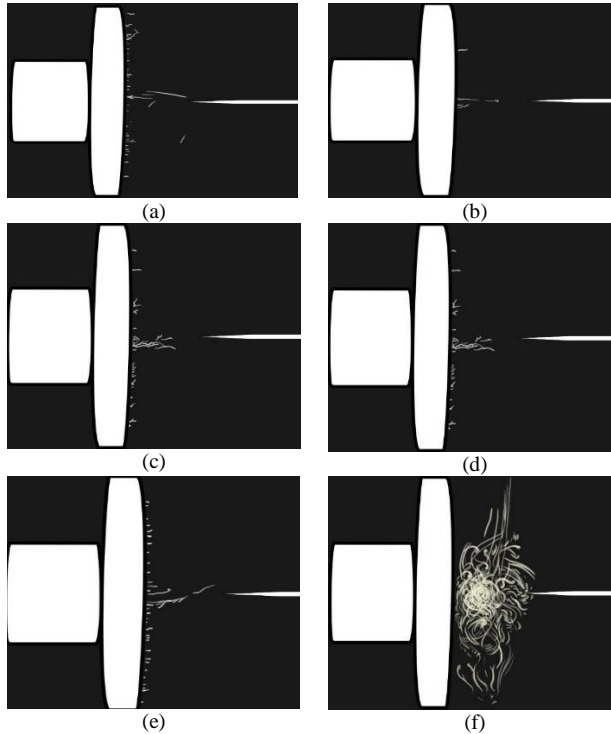
Pada variasi suhu 60°C , nilai tegangan *breakdown voltage* sebesar 28 kV. Fenomena *pre-breakdown voltage* dimulai pada tegangan 20kV, seperti yang terlihat mulainya fenomena ditunjukkan dengan adanya serat tipis dari elektroda plat yang tertarik menuju elektroda jarum. Proses mulai terlihatnya serat-serat tipis, Kemudian dilakukan pengambilan gambar selama 60 detik dan setelah itu setiap kenaikan 2kV dilakukan cara yang sama dalam pengambilan gambarnya. Dari 20kV, dinaikkan menjadi 22kV terlihat serat yang sudah perlahan mengumpul pada elektroda plat yang lurus dengan jarum elektroda, namu masih tipis seratnya. Kemudian dinaikkan kembali pada tegangan 24kV serat yang terkumpul ditengah sudah terlihat seratnya dengan *volume* serat yang sudah bertambah. Selanjutnya dinaikkan ke tegangan 26kV, pembentukan serat pada daerah elektroda plat sudah terlihat sangat jelas dan terlihat sangat tipis ruang muatan hampa yang titiknya menuju elektroda jarum. Dinaikkan kembali ke tegangan 28kV, bunyi desis yang ada terdengar lebih keras dan terlihat pembentukan streamer setelah itu terjadilah *breakdown voltage*. Proses ini dapat dilihat pada gambar 4.1 dan ilustrasi penangkapan fenomena *pre-breakdown voltage* dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 60°C dengan Tegangan 20kV (a), 22kV (b), 24kV (c), 26kV (d), 28kV sebelum *Breakdown* (e), dan 28kV Waktu *Breakdown* (f).

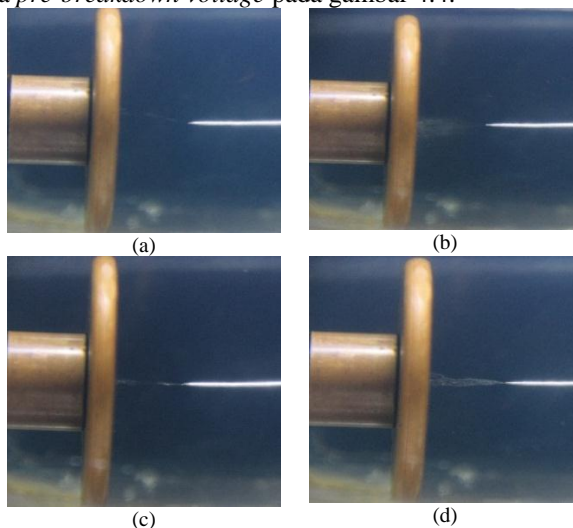


Gambar 4.2 Lanjutan Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 60°C dengan Tegangan 20kV (a), 22kV (b), 24kV (c), 26kV (d), 28kV sebelum *Breakdown* (e), dan 28kV Waktu *Breakdown* (f).

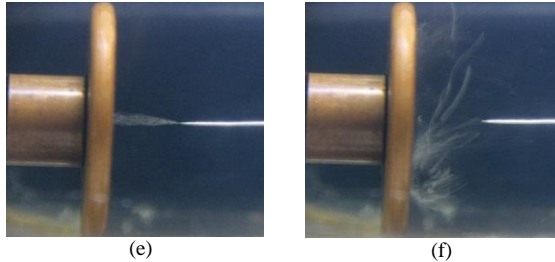


Gambar 4.3 Hasil Sketsa Gambar Variasi suhu 60°C dengan Tegangan 20kV (a), 22kV (b), 24kV (c), 26kV (d), 28kV sebelum *Breakdown* (e), dan 28kV Waktu *Breakdown* (f).

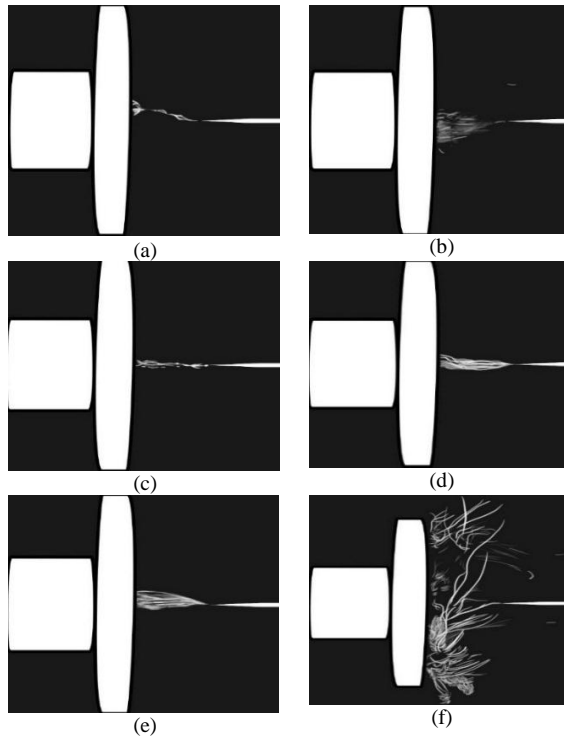
Pada variasi suhu 90°C , nilai tegangan *breakdown voltage* sebesar 34kV. Pada tegangan 26kV sudah terlihat fenomena *pre-breakdown voltage*. Pada tegangan 26kV dimulai penangkapan gambar dengan interval waktu selama 60 detik. Pada tegangan 26kV terlihat bahwa mulai terbentuknya serat tipis diantara elektroda plat dan elektroda jarum. Setelah itu dinaikkan tegangannya menjadi 28kV, terlihat serat mengumpul pada daerah elektroda plat dengan volume serat lebih banyak namun masih tidak terlalu jelas pembentukan seratnya. Kemudian dinaikkan pada tegangan 30kV, gambar yang terlihat sudah lebih stabil pembentukan seratnya dan seratnya terlihat dengan jelas. Dinaikkan kembali ke tegangan 32kV, jembatan seratnya terlihat begitu jelas namun belum banyak sehingga belum terjadi *breakdown*. Kemudian lanjut dinaikkan pada tegangan 34kV, bunyi desis semakin nyaring dan gambar yang diperoleh sudah sangat jelas pembentukan jembatan seratnya dan beberapa detik kemudian terjadi *breakdown voltage* pada minyak. Proses mendapatkan fenomena pada suhu 90°C ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dan diilustrasikan pengangkapan fenomena *pre-breakdown voltage* pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 90°C dengan Tegangan 26kV (a), 28kV (b), 30kV (c), 32kV (d), 34kV waktu akan *breakdown* (e), dan 34kV Waktu *Breakdown* (f).

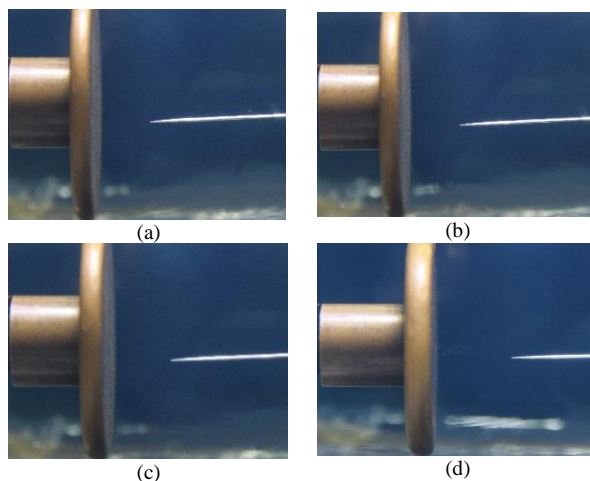


Gambar 4.5 Lanjutan Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 90°C dengan Tegangan 26kV (a), 28kV (b), 30kV (c), 32kV (d), 34kV waktu akan *breakdown* (e), dan 34kV Waktu *Breakdown* (f).

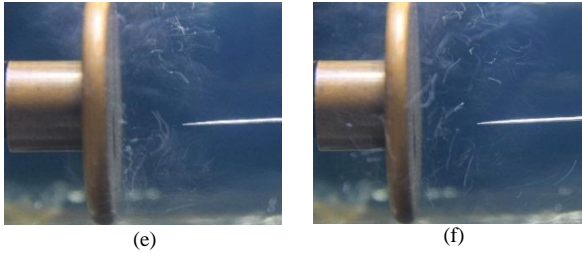


Gambar 4.6 Hasil Sketsa Gambar Variasi suhu 90°C dengan Tegangan 26kV (a), 28kV (b), 30kV (c), 32kV (d), 34kV waktu akan *breakdown* (e), dan 34kV Waktu *Breakdown* (f).

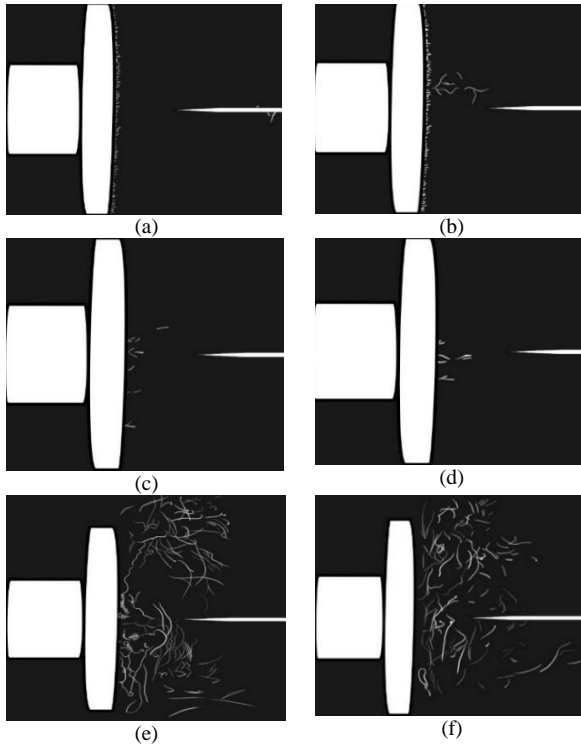
Pada variasi suhu 120°C , nilai tegangan *breakdown voltage* sebesar 42kV. Fenomena *pre-breakdown voltage* dimulai pada tegangan 32kV. Pada tegangan 32kV dimulainya penangkapan fenomena *pre-breakdown voltage* selama 60 detik. Hasil dari pengambilan gambar terlihat hanya serat-serat tipis pada permukaan elektroda plat tertarik menuju elektroda jarum. Kemudian dinaikkan pada tegangan 34kV, gambar yang terlihat serat pada minyak namun pergerakannya masih belum stabil. Pada tegangan 36kV, terlihat pada gambar pembentukan serat sudah mulai stabil namun karena minyak pada saat pengujian bergerak-gerak sehingga minyak terlihat seperti keruh maka serat yang muncul masih tipis-tipis. Kemudian dinaikkan pada tegangan 38kV gambar yang terlihat masih sama dengan 36kV sehingga proses penangkapan gambarnya dilanjutkan pada tegangan 40kV. Pada tegangan 40kV, terlihat gambar sudah mengumpul dan membentuk serat dengan baik ditengah yang terlihat pada elektroda plat namun proses jembatan seratnya tidak terlihat dengan baik sehingga pengambilan gambarnya terlihat serat pada daerah elektroda plat. Kemudian dinaikkan lagi tegangannya menjadi 42kV yang tidak lama dari dinaikkannya tegangan dan kemudian terjadi *breakdown voltage* dengan pergerakan minyak semakin keruh. Proses ini dapat dilihat pada gambar 4.5 dan ilustrasi pengambilan gambar fenomena *pre-breakdown voltage* pada gambar 4.6.



Gambar 4.7 Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 120°C dengan Tegangan 32kV (a), 34kV (b), 36kV (c), 40kV (d), 42kV waktu *Breakdown* (e), dan 42kV sesudah *Breakdown* (f).



Gambar 4.8 Lanjutan Hasil Pengambilan Gambar Variasi suhu 120°C dengan Tegangan 32kV (a), 34kV (b), 36kV (c), 40kV (d), 42kV waktu *Breakdown* (e), dan 42kV sesudah *Breakdown* (f).



Gambar 4.9 Hasil Sketsa Gambar Variasi suhu 120°C dengan Tegangan 32kV (a), 34kV (b), 36kV (c), 40kV (d), 42kV waktu *Breakdown* (e), dan 34kV sesudah *Breakdown* (f).

Dari hasil pengujian pengambilan gambar terlihat bahwa minyak mengalami pergerakan ketika peningkatan nilai tegangan pada elektroda uji. Pergerakan dan munculnya serat tipis pada minyak merupakan awal terjadinya fenomena *pre-breakdown voltage*. Fenomena *pre-breakdown voltage* dipengaruhi karena adanya *partial discharge*. Proses *partial discharge* dapat meningkat seiring dengan adanya peningkatan tegangan dari sumber dan menyebabkan susunan elektroda medan tak seragam membentuk fenomena korona, pembentukan streamer, leader dan menyebabkan kegagalan. Awal pembentukan streamer dipengaruhi oleh tingkat ketidakseragaman medan yang rendah dan tegangan yang semakin meningkat. Sehingga semakin meningkatnya tegangan pembentukan streamer akan berkembang menjadi pembentukan leader dan proses tersebut dapat menyebabkan terjadinya kegagalan atau *breakdown voltage*.

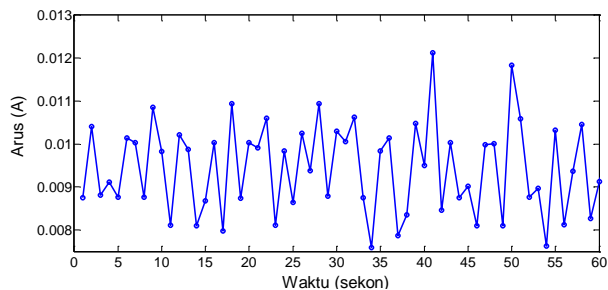
Pengaruh suhu dalam karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* yaitu semakin besar nilai pemanasan minyak maka semakin tinggi kekuatan dielektrik pada minyak sehingga proses terjadinya kegagalan akan semakin besar nilai tegangannya. Pada perbandingan pengaruh kenaikan temperatur dalam karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage*, suhu 120°C nilai tegangan breakdown semakin besar. Hal tersebut terjadi karena pengaruh temperature pada minyak mempengaruhi kerapatan dielektrik pada minyak trafo sehingga nilai tegangan breakdownnya semakin besar sedangkan pada suhu 60°C tegangan breakdownnya lebih kecil karena pengaruh pembentukan jembatan serat lebih terlihat sehingga ketidakmurnian minyak dapat mempercepat terjadinya *breakdown voltage*.

4.2 Karakteristik Arus Pada Pengaruh Temperatur dalam Fenomena Pre-Breakdown Voltage.

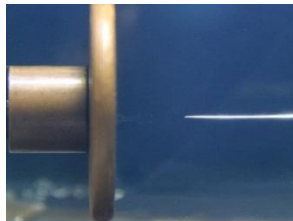
Karakteristik arus PD dilakukan untuk memperoleh pengaruh temperatur pada fenomena *pre-breakdown voltage* dalam minyak trafo. Untuk memperoleh data arus PD digunakannya CT yang dihubungkan dengan NI 9246 dan direkam proses signal arusnya menggunakan LabVIEW dan signal arus dapat ditampilkan dalam DIAdem. Data yang terekam oleh LabVIEW akan berformat .tdms yang nantinya dapat diolah dengan menggunakan *software* diadem. DAQ Assistant digunakan untuk mengatur keluaran signal yang diinginkan. *Wavefront graph* digunakan untuk menampilkan signal yang terekam oleh LabVIEW. DAQ Assistant memiliki beberapa pengaturan yang

dilakukan. Pengaturan tersebut berupa *acquisition mode*, *sample to read*, *rate(kHz)*, *custom scaling*, dan *logging*. Acquisition mode yang digunakan adalah *continuous samples* dengan *sample to read* 10k dan Rate(Hz) 10k. *Custom scaling* disesuaikan dengan CT yang memiliki *scaling* 50/5. *Logging* diatur untuk menyimpan file pada lokasi yang diharapkan.

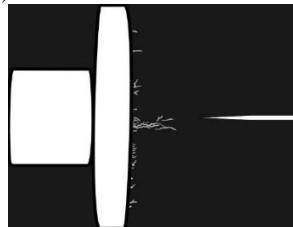
Pada variasi suhu 60°C didapat hasil karakteristik arus PD yang ditunjukkan pada gambar 4.10. Terlihat bahwa arus yang didapat saat *breakdown* sebesar 3 ampere diawali pada tegangan 24kV hingga 28kV dalam waktu 180 detik. Pada tegangan 24kV bentuk signal arus yang diperoleh didapat juga fenomena *pre-breakdown voltage* yang ditunjukkan pada gambar 4.7. Pada tegangan 20kV minyak mulai terjadi perpindahan elektron dari satu molekul ke molekul lainnya dan proses tersebut ditunjukkan dengan timbulnya serat-serat tipis pada permukaan elektroda plat.



(a)



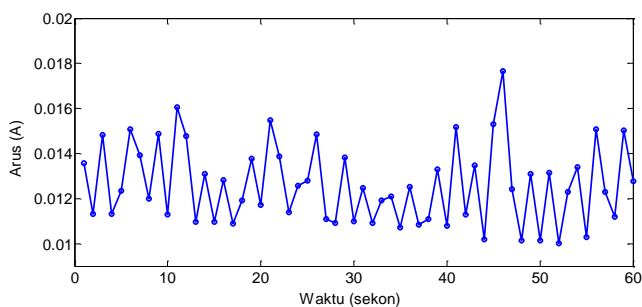
(b)



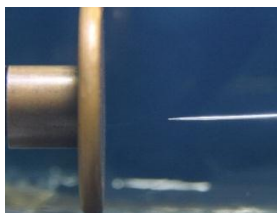
(c)

Gambar 4.10 Variasi suhu 60°C pada tegangan 24kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

Dari tegangan 24kV, kemudian dinaikkan setiap 2kV menjadi 26kV. Bentuk arus yang terukur dicocokkan dengan fenomena yang didapat ditunjukkan pada gambar 4.8. Pada proses tegangan dinaikkan, arus yang terukur menjadi lebih tinggi dari tegangan sebelumnya dan fenomena yang ditangkap terlihat bahwa serat mulai mengumpul atau membentuk ditengah dan serat pada elektroda plat tertarik namun tipis menuju elektroda jarum.



(a)



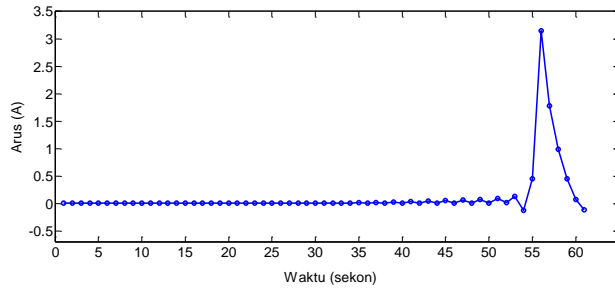
(b)



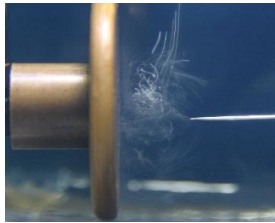
(c)

Gambar 4.11 Variasi suhu 60°C pada tegangan 26kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

Selanjutnya tegangan dinaikkan menjadi 28kV, pembentukan serat sudah menyerupai jembatan yang kemudian terjadinya *breakdown*. Pada gambar 4.9 ditunjukkan arus yang terukur proses terjadinya puncak *fenomena pre-breakdown voltage* Proses ini menunjukkan bahwa arus yang terukur sesaat naik saat tegangan dinaikkan kemudian drop sesaat saat tegangan mencapai puncak *breakdown* dan setelah itu terjadinya *breakdown* dengan arus yang terukur 3 ampere.



(a)

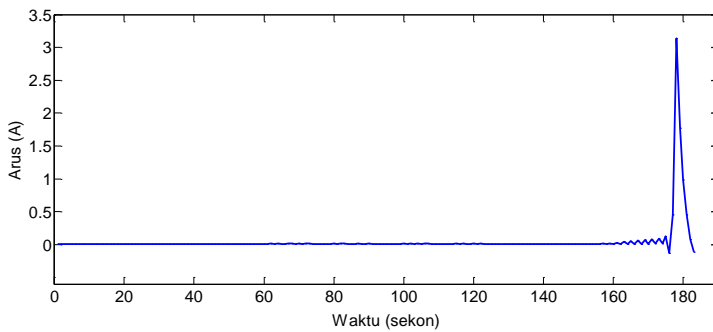


(b)



(c)

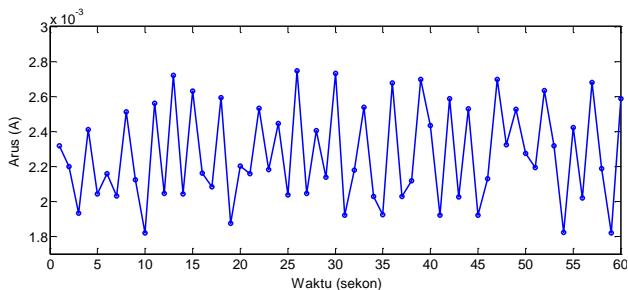
Gambar 4.12 Variasi suhu 60°C pada tegangan 28kV , bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)



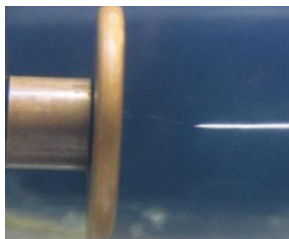
Gambar 4.13 Arus yang terukur pada variasi suhu 60°C dari tegangan awal munculnya fenomena *pre-breakdown voltage* hingga terjadinya *breakdown* selama 180 detik

Kemudian dilanjutkan pada dengan variasi suhu 90°C , diperoleh arus PD dengan nilai sebesar $3,5$ ampere selama 315 detik yang ditunjukkan pada gambar 4.16. Terlihat bentuk perolehan arus PD pada

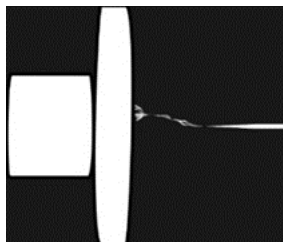
tegangan awal yaitu tegangan 26kV munculnya fenomena *pre-breakdown* voltage dan dicocokkan dengan hasil foto yang ditunjukkan pada gambar 4.11.



(a)



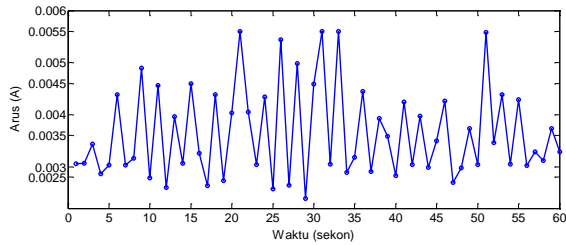
(b)



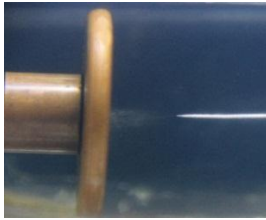
(c)

Gambar 4.14 Variasi suhu 90°C pada tegangan 26kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

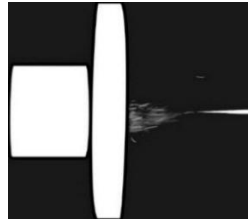
Kemudian tegangan dinaikkan menjadi 28kV dapat dilihat pada gambar 4.12, arus yang terukur nilainya menjadi lebih tinggi dari tegangan sebelumnya dan hasil penangkapan fenomena yang dicocokkan dengan arus yang terukur terlihat bahwa terdapat serat-serat yang timbul dengan volume yang banyak terjadi akibat pergerakan electron yang memiliki kuat medan yang tinggi mengumpul yang akan membentuk jembatan serat yang berada pada bagian tengah permukaan elektroda plat.



(a)



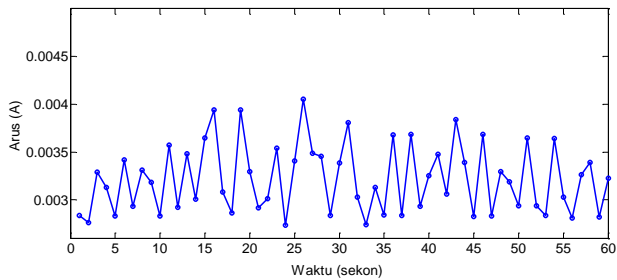
(b)



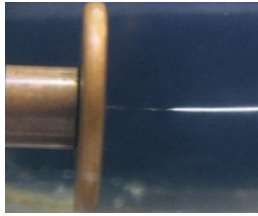
(c)

Gambar 4.15 Variasi suhu 90°C pada tegangan 28kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

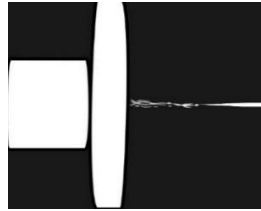
Selanjutnya pada kenaikan tegangan menjadi 30kV yang ditunjukkan pada gambar 4.13, minyak mulai tenang pergerakannya dan proses pembentukan jembatan serat mulai terlihat dengan jelas namun belum banyak dan dicocokkan dengan arus yang terukur memiliki nilai yang lebih tinggi dari tegangan sebelumnya.



Gambar 4.16 Variasi suhu 90°C pada tegangan 30kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)



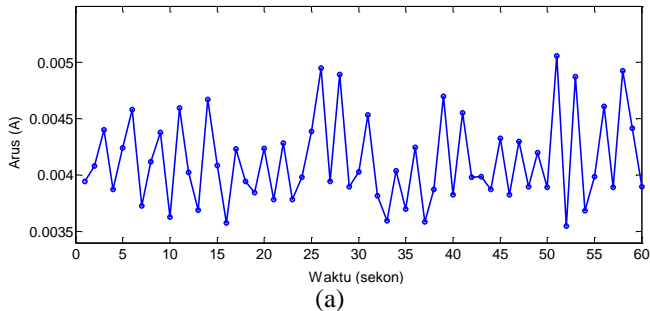
(b)



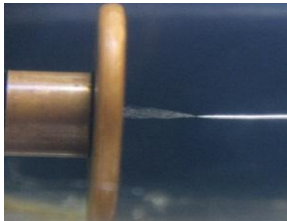
(c)

Gambar 4.17 Lanjutan Variasi suhu 90°C pada tegangan 30kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

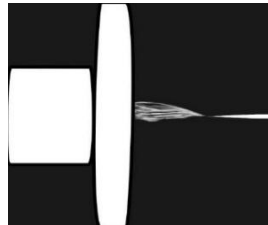
Kemudian dilanjutkan dengan menaikkan tegangan menjadi 32kV pergerakan minyak mulai mengalami perubahan dengan ditunjukkan pada gambar 4.14 hasil arus yang terukur memiliki nilai yang lebih tinggi dan arus yang terekam menjadi naik turun dan tidak teratur. Arus yang didapat dicocokkan dengan hasil gambar yang diperoleh bahwa terlihat begitu jelas jembatan serat yang terbentuk. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses tersebut adalah proses akan terjadi *breakdown*.



(a)



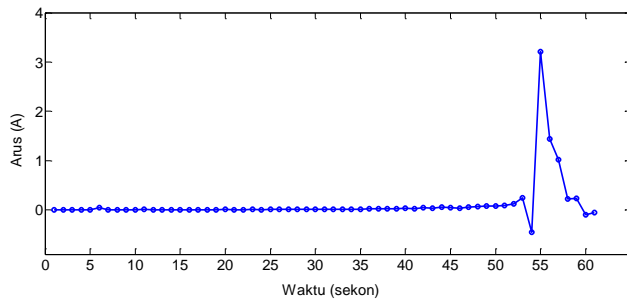
(b)



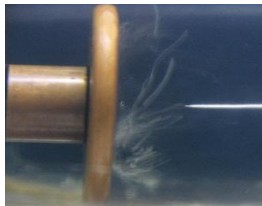
(c)

Gambar 4.18 Variasi suhu 90°C pada tegangan 32kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

Dari tegangan 32kV dinaikkan menjadi 34kV, proses pergerakan minyak makin tidak teratur dan setelah itu terjadilah *breakdown*. Hasil arus yang terukur pada tegangan 34kV ditunjukkan pada gambar 4.15 dan dicocokkan juga dengan penangkapan fenomenanya. Terlihat bahwa terjadi *breakdown* pada arus yang terukur sebesar 3,5 ampere.



(a)

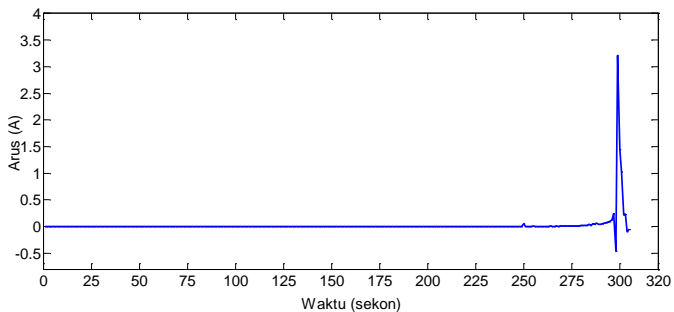


(b)



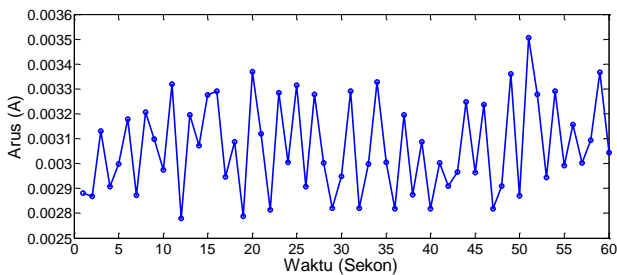
(c)

Gambar 4.19 Variasi suhu 90°C pada tegangan 34kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

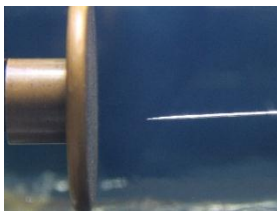


Gambar 4.20 Arus yang terukur pada variasi suhu 90°C dari tegangan awal munculnya fenomena *pre-breakdown voltage* hingga terjadinya *breakdown* selama 315 detik

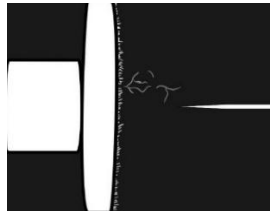
Selanjutnya pada pemanasan dengan variasi suhu 120°C terlihat bahwa semakin tinggi kenaikan temperatur pada minyak maka semakin tinggi nilai arus yang dihasilkan yaitu sebesar 4,7 ampere selama 250 detik ditunjukkan pada gambar 4.21. Pada pemanasan suhu 120°C , mula imuncul nya fenomena *pre-breakdown voltage* pada tegangan 34kV. Pada tegangan 34kV, arus yang terukur memiliki nilai yang tidak teratur dengan dicocokkannya pada hasil gambar fenomena yang didapat bahwa pada minyak terjadi pergerakan sehingga terlihat minyak sedikit lebih keruh dan proses timbulnya serat juga tidak terlalu terlihat. Proses ini terjadi karena semakin tinggi nilai suhu pada minyak trafo maka semakin kuat juga kekuatan dielektriknya, sehingga pembentukan serat pada minyak tidak dapat terlihat dengan jelas.



(a)



(b)

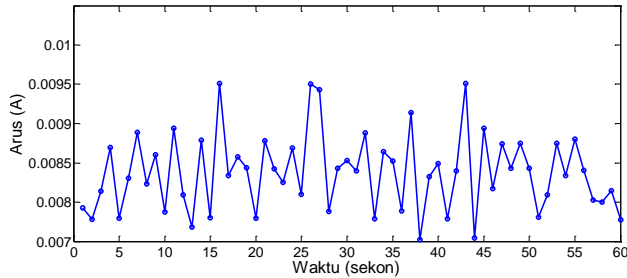


(c)

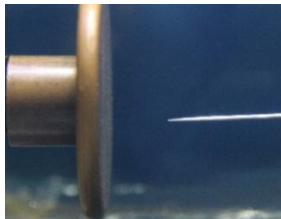
Gambar 4.21 Variasi suhu 120°C pada tegangan 34kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

Kemudian dinaikkan pada tegangan 36kV, proses yang terlihat tidak terlalu beda dengan hasil tegangan sebelumnya, hanya saja nilai arus yang terukur mengalami kenaikan namun dengan dicocokkan pada

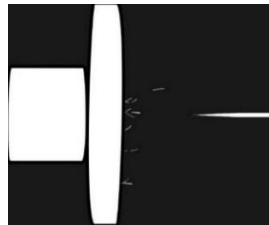
hasil penangkapan fenomena bahwa minyak mengalami pergerakan yang membuat isi dalam minyak menjadi keruh dan proses penangkapannya menjadi kurang jelas terlihat akan tetapi serat-serat yang timbul masih tetap ada namun tidak terlihat dengan jelas. Proses tegangan 36kV dapat dilihat pada gambar 4.18.



(a)



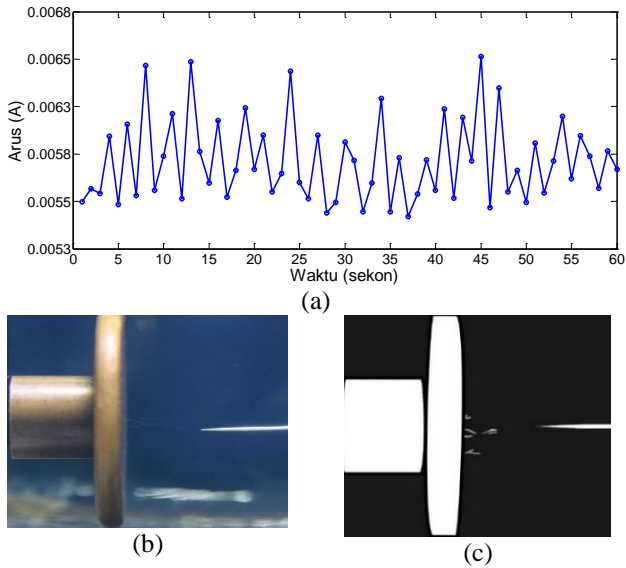
(b)



(c)

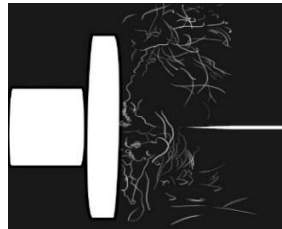
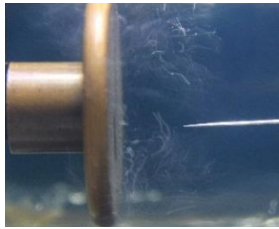
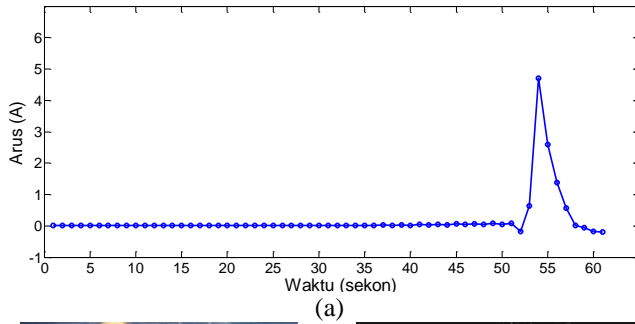
Gambar 4.22 Variasi suhu 120°C pada tegangan 36kV, bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

Tegangan dinaikkan kembali sebesar 40kV, dinaikkan langsung menjadi 40kV karena pada kenaikan 38kV tidak mengalami perubahan yang signifikan dari tegangan sebelumnya sehingga langsung menuju ke tegangan 40kV. Pada tegangan 40kV yang ditunjukkan pada gambar 4.19, arus yang terukur nilainya menjadi lebih turun, dan hasil pengambilan gambar fenomena terlihat bahwa minyak semakin-semakin keruh dan serat pada minyak terlihat bergerak kesana kemari dengan tidak beraturan. Hal tersebut terjadi karena pada proses ini adalah proses akan terjadinya *breakdown voltage* sehingga nilai arus yang terukur menjadi turun sesaat.

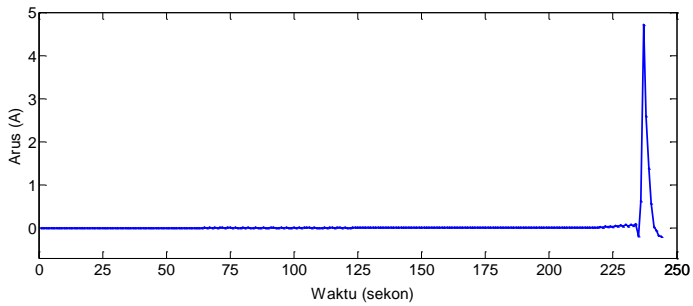


Gambar 4.23 Variasi suhu 120°C pada tegangan 40kV , bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)

Dengan dinaikkan pada tegangan 42kV , pergerakan minyak semakin tidak beraturan dan terjadilah *breakdown* yang ditunjukkan pada gambar 4.20. Terlihat bahwa semakin tinggi nilai arusnya maka semakin cepat pergerakan serat yang terjadi pada kedua elektroda namun karena semakin tinggi suhu pada minyak trafo pembentukan serat menjadi tidak terlihat. Kenaikan nilai arus juga dipengaruhi oleh medan elektroda dan jarak sela antar elektroda, semakin runcing medan elektroda dan semakin jauh jarak antar elektroda maka semakin tinggi nilai *breakdown voltasenya*. Dari hasil perolehan arus PD yang didapat, variasi suhu mempengaruhi penangkapan fenomena *pre-breakdown voltage* sehingga semakin tinggi nilai arusnya pembentukan streamer pada minyak tidak dapat terlihat sangat baik dan semakin tinggi nilai arusnya juga akan semakin tinggi nilai tegangan *breakdown voltasenya*.



Gambar 4.24 Variasi suhu 120°C pada tegangan 42kV , bentuk arus yang terukur (a), fenomena awal yang didapat (b) dan gambar ilustrasinya (c)



Gambar 4.25 Arus yang terukur pada variasi suhu 120°C dari tegangan awal munculnya fenomena *pre-breakdown voltage* hingga terjadinya *breakdown* selama 250 detik

4.3 Karakteristik DGA (Dissolved Gas Analysis) pada Pengaruh Temperatur dari Karakteristik Fenemena *Pre-Breakdown Voltage*

Pada pengujian DGA ini dilakukan pada 3 variasi suhu pemanasan dalam minyak yang berbeda-beda. 3 variasi suhu pemanasan minyak tersebut ialah minyak dengan variasi pemanasan 60°C, 90°C dan 120°C. Minyak yang sudah dilakukan pengujian fenomena *pre-breakdown voltage* di simpan pada wadah berbentuk botol yang berwarna gelap dan diletakkan pada suhu ruangan sekitar. Dilakukan pengujian DGA ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kandungan gas yang terlarut pada minyak yang telah dilakukan pengujian *breakdown voltage*. Nilai gas terlarut yang terdeteksi pada saat pengujian DGA akan dianalisis kondisi minyak isolasinya agar kerja minyak dalam trafo dapat terdeteksi lebih dini bila mengalami gangguan atau kerusakan.

Pengujian DGA pada 3 variasi suhu ini didapatkan hasil bahwa diperoleh kandungan gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) seperti yang terlihat pada tabel 4.1. Dari data pada tabel kandungan gas yang terlarut pada semua variasi suhu berada dalam kondisi 1 yang artinya dalam kondisi normal. Pada kondisi normal, minyak harus sering dipantau guna untuk menghindari gas-gas atau kontaminan yang tidak diinginkan. Total TDCG dari hasil uji dalam keadaan normal dilihat dari perhitungan dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{TDCG} &= \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_2 \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1 \text{ PPM} \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Kandungan Gas Terlarut pada Variasi Suhu 60°C

Komponen Gas	Nilai Gas (PPM)	Kondisi
H ₂ (Hydrogen)	0	1
CH ₄ (Metana)	0	1
CO (Karbon Monoksida)	1 (<LDL)	1
CO ₂ (Karbon Dioksida)	1376	1
C ₂ H ₄ (Ethylene)	0	1
C ₂ H ₆ (Ethana)	0	1
C ₂ H ₂ (Acetylene)	0	1

Selanjutnya pengujian DGA pada variasi pemanasan suhu minyak 90°C, terlihat pada table 4.2 bahwa gas yang diperoleh ialah gas CO dan gas CO₂. Gas yang diperoleh berada dalam kondisi 1 semua yaitu masih dalam operasi yang normal. Dari hasil uji didapat kandungan gas CO dan CO₂ diinterpretasikan bahwa trafo beroperasi dengan beban lebih atau beroperasi pada suhu yang tinggi dan hal tersebut lama kelamaan akan mengakibatkan isolasi kertas mengalami kerusakan.

Total TDCG dapat dihitung seperti berikut ini:

$$\begin{aligned}\text{TDCG} &= \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_2 \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1 \text{ PPM}\end{aligned}$$

Tabel 4.2 Kandungan Gas Terlarut pada Variasi Suhu 90°C

Komponen Gas	Nilai Gas (PPM)	Kondisi
H ₂ (Hidrogen)	0	1
CH ₄ (Metana)	0	1
CO (Karbon Monoksida)	1 (<LDL)	1
CO ₂ (Karbon Dioksida)	1383	1
C ₂ H ₄ (Ethylene)	0	1
C ₂ H ₆ (Ethana)	0	1
C ₂ H ₂ (Acetylene)	0	1

Pengujian DGA untuk variasi suhu pemanasan yang terakhir yaitu suhu 120°C. Dari hasil uji DGA pada tabel 4.3 diperoleh gas yang terlarut dalam minyak ialah kandungan gas CO dan CO₂. Gas yang diperoleh dapat diinterpretasikan bahwa bila diperoleh gas karbon monoksida dan karbon dioksida dalam minyak trafo maka pada trafo beroperasi dengan beban lebih atau beroperasi pa suhu yang tinggi dan hal tersebut dapat menyebabkan isolasi kertas mengalami kerusakan. Dari perolehan gas terlarut dapat ditotal TDCG dalam variasi suhu 120°C seperti berikut ini:

$$\begin{aligned}\text{TDCG} &= \text{H}_2 + \text{CH}_4 + \text{CO} + \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_2\text{H}_2 \\ &= 0 + 0 + 0 + 1 + 0 + 0 + 0 = 1 \text{ PPM}\end{aligned}$$

Tabel 4.3 Kandungan Gas Terlarut pada Variasi Suhu 120°C

Komponen Gas	Nilai Gas (PPM)	Kondisi
H ₂ (Hidrogen)	0	1
CH ₄ (Metana)	0	1
CO (Karbon Monoksida)	1 (<LDL)	1
CO ₂ (Karbon Dioksida)	1403	1
C ₂ H ₄ (Ethylene)	0	1
C ₂ H ₆ (Ethana)	0	1
C ₂ H ₂ (Acetylene)	0	1

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didaot dari perolehan analisis pengaruh temperature pada karakteristik fenomena *pre-breakdown voltage* pada minyak trafo adalah sebagai berikut:

1. Semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin tinggi nilai tegangan fenomena *pre-breakdown voltage*nya. Pada variasi suhu 60°C fenomena *pre-breakdown voltage* terjadi pada tegangan sebesar 24kV, variasi suhu 90°C fenomena *pre-breakdown voltage* terjadi pada tegangan 26kV dan pada suhu pemanasan 120°C fenomena *pre-breakdown voltage* terjadi pada tegangan 32kV.
2. Semakin tinggi suhu pemanasan maka memperoleh pembentukan serat pada fenomena *pre-breakdown voltage* dalam minyak semakin sulit karena pergerakan dalam minyak semakin tidak teratur dan minyak semakin terlihat keruh.
3. Semakin tinggi suhu pemanasan maka semakin tinggi nilai tegangan *breakdown voltage*. Pada variasi suhu 60°C nilai tegangan *breakdown*nya sebesar 28kV, variasi suhu 90°C nilai tegangan *breakdown*nya sebesar 34kV dan variasi suhu 120°C nilai tegangan *breakdown*nya sebesar 42kV.
4. Semakin tinggi suhu pemanasan dalam minyak trafo maka semakin tinggi kenaikan arus PD yang dihasilkan. Untuk variasi suhu 60°C arus yang terukur sebesar 3 ampere, variasi suhu 90°C arus yang terukur sebesar 3,2 ampere dan variasi suhu 120°C arus yang terukur sebesar 4,7 ampere.
5. Hasil tes DGA pada 3 variasi suhu pemanasan diperoleh adanya kandungan gas CO dan kandungan gas CO₂. Gas yang terlarut dari hasil tes DGA diperoleh pada kondisi 1 yaitu kondisi normal.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk tugas akhir ini adalah:

1. Pada tugas akhir ini minyak yang digunakan dalam pengujian yaitu minyak shell diala b. Untuk tugas akhir selanjutnya dapat menggunakan jenis minyak isolasi lainnya.
2. Untuk tugas akhir selanjutnya dapat dilakukan dengan memvariasi lebih banyak suhu pemanasan.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Danikas, M. G. (1990). Breakdown of Transformer Oil. IEEE Electrical Insulation Magazine, 6(5), 27–34.
- [2] Nugroho, D. (2010). Kegagalan Isolasi Minyak Trafo. Media ElektriKA, ISSN 1979-7451, 3(2).
- [3] Torshin, Y. V. (2003). Prediction of Breakdown Voltage of Transformer Oil from Predischarge Phenomena. In IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation (Vol. 10, pp. 933–941).
- [4] Illias, H., Teo Soon, Y., Bakar, A. A., Mokhlis, H., Chen, G., & Lewin, P. L. (2012). Partial discharge patterns in high voltage insulation. Power and Energy (PECon), 2012 IEEE International Conference on, (December), 750–755.
- [5] Negara, I Made Yulistya. 2013. Teknik Tegangan Tinggi Prinsip Dan Aplikasi Praktis. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Cahyaningrum, Dwi Krisna. 2017. Analisis Karakteristik Fenomena Pre-Breakdown Voltage Berbasis Pengujian Pada Isolasi Minyak. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. I Made Y.N, Daniar Fahmi
- [7] Wijaya, I Made Indra. 2010. Karakteristik Korona dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak pada Konfigurasi Elektroda Jarum-Plat. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Minyak Isolasi, SPLN 49_1: 1982, 21 Januari 1982.
- [9] Sarathi, Ramanujam. 2007. Characterization of Partial Discharges in Transformer Oil Insulation Under AC and DC Voltage Using Acoustic Emission Technique.
- [10] Hardityo, Rahmat. 2007. Deteksi dan Analisa Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Analisis Gas Terlarut. Skripsi, Universitas Indonesia.
- [11] Chumaidy, Adib. Analiss Kegagalan Minyak Isolasi pada Transformator Daya Berbasis Kandungan Gas Terlarut. Skripsi, Institut Sains dan Teknologi Nasional.

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Amanda Dwi Purwanti D lahir di Surabaya pada tanggal 03 April 1995. Anak kedua dari 3 bersaudara ini menempuh pendidikan dasar di SDN Petemon II Surabaya pada tahun 2001 sampai 2007. Kemudian melanjutkan sekolah ke SMPN 10 Surabaya pada tahun 2007 sampai 2010. Melanjutkan ke SMA TRIMURTI Surabaya pada tahun 2010 sampai 2013. Setelah lulus SMA pada tahun 2013, penulis diterima sebagai mahasiswa D3 Teknik Elektro Industri Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) kerjasama dengan Dinas Ketenagakerja Surabaya dan lulus pada tahun 2016. Kemudian penulis melanjutkan jenjangnya dengan diterimanya sebagai mahasiswa S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa kuliah D3 penulis aktif di BEM FTI dan aktif di himpunan HIMAD3TEKTRO yang menjabat sebagai staff Hubungan Luar (HUBLU) pada tahun kepengurusan 2014-2015. Penulis dapat dihubungi pada alamat email amandadwipurwanti@gmail.com

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN A

Lampiran A adalah data temperatur minyak trafo dari PLN Transmisi Bagian Jawa Barat–Pemeliharaan Cawang Kapasitas 60 MVA.

CHECK LIST GITET GANDUL JAM 10.00 TANGGAL 29 JUNI 2018												
	IBT 1			IBT 2			IBT 3			IBT 4		
	R	S	T	R	S	T	R	S	T	R	S	T
LA 500												
W1	63.	61.	62.	53.	50.	57.	46.	49.	48.	51.	52.	51.
W2	65.	62.	61.	55.	53.	53.	46.	49.	49.	52.	52.	53.
W3	63.	62.	60.		50.	50.	45.	45.	49.	52.	52.	51.
OT	64.	61.	58.	51.	49.	50.	48.	47.	50.	51.	51.	51.
OLTC	50.4	50.40	50.7	10.35	7.35	7.42	2.62	2.78	2.07	1.65	1.76	1.30
TAP	9	9.	9.	5.	5.	5.	6	6	6.	10.	10.	10.
LA 150												
THERMOVISI												
BISING 500	39.	38.	37.	40	40.	39	40	39.	40	46	46.	45
NETRAL 500	43	43.	42.	43	42	42.	43	42.	41	40	40	39.
BISING 150	43	42.	40.	42	43	42.	44	43	44	37	38	36
NETRAL 150	42.	43	44	44	46	44	43	44	44.	38	39	38
TERMIN 1	44	45	35	43	42	42	38	36	37	47	46	46
TERMIN 2	40	39	37	43	41	43	37	36	36	44	44	43.
LA 500	39	40	39.	42.	40	40	43	40	37.	40	39	38.
LA 150	38	39	38.	39	38	38.	39	38.	36	35	36	37.
VT TERMIN	42	43	42	35	34	34.	42.	41	40	45.	43	44.
CT NETRAL	40	40.	39	43	42	42.	42	41	40	45.	43	44.

COUNTER	7A1			7AB1		
	R	S	T	R	S	T
PMT						
CI						

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

LAMPIRAN B

Lampiran B adalah datasheet Shell Diala B dan datasheet Rele Buchholz.

1. Datasheet Minyak Shell Diala B

Shell Diala Oil B

Electrical insulating oil



Shell Diala Oil B is an uninhibited electrical insulating fluid, for use where normal oxidation resistance is required.

It is a highly refined naphthenic mineral oil with natural low pour point characteristics.

Applications

Shell Diala Oil B is primarily intended for use in:

- Transformers
- Circuit breakers
- Oil-filled switches
- An insulator and arc extinguishing agent in switchgear and circuit breakers

Performance Features

- **Highly resistant to oxidative degradation**
Resists the formation of oxidation products that can reduce the ability of the oil to insulate and cool electrical windings
- **Rapid heat transfer properties**
An essential quality in electrical insulating systems
- **Compatible with construction materials**
Compatible with all common construction materials used in electrical systems.
- **Outstanding low temperature properties**
Without the need for pour point depressants

Shell Diala Oil B does not contain PCB's

Performance Specifications

Shell Diala Oil B meets the following specifications:

IEC 296 Class 1

BS 148 (1972)

Health & Safety

Shell Diala Oil B is unlikely to present any significant health or safety hazard when properly used in the recommended application, and good standards of industrial and personal hygiene are maintained.

For further guidance on Product Health & Safety refer to the appropriate Shell Product Safety Data Sheet.

Advice on applications not covered in this leaflet may be obtained from your Shell Representative

Storage Precautions

The critical electrical properties of Shell Diala Oil B are easily compromised by minute concentrations of contaminants. Typically encountered contaminants include moisture, particulate, fibres and surfactants. Therefore, it is imperative that electrical insulating oils be kept clean and dry.

It is strongly recommended that storage containers be dedicated for electrical service and include air-tight seals. It is further recommended that electrical insulating oils be stored indoors in climate-controlled environments.

Typical Physical Characteristics

Shell Diala Oil	B
Kinematic Viscosity @ -15°C cSt 20°C cSt 40°C cSt	600 36 14
Density @ 15°C kg/l	0.880
Flash Point °C (PMCC)	150
Pour Point °C	<-50
Dielectric Strength kV	>50
Dielectric Dissipation factor at 90°C	0.002

These characteristics are typical of current production. Whilst future production will conform to Shell's specification variations in these characteristics may occur.

2. Datasheet Rele Buchholz

PARAMETER	DATA	NOTES
Nominal voltage	AC 230V DC 230V	12 V to 230 V 12 V to 230 V
Nominal current	AC 230V DC 230V	12 V to 230 V 12 V to 230 V
Contact voltage capacity	AC 1000 V	-
Insulation voltage capacity	AC 2000 V	Contact against casing

Temperature range:

-ambient temperature	(-40°C to +55°C) (-40°F to +131°F)	Climate acc. to DIN EN 60068-2-78:2002-09
-working range:		
(*temperature of the insulation fluid)	(-40°C to +155°C) (-40°F to +309°F)	Others on request
(*viscosity of the insulation fluid)	<1100 mm²/s	
Shock resistance	class 4M6	
-Earthquake / Vibration	2g(peak value) frequency range 2Hz to 200 Hz	-
-Impact	25g/shock duration 11 ms	-
Resistance to pressure	0.25 MPa	-
Resistance to vacuum	<2.5 kPa	-
Insensitivity to magnetic fields	25mT	-

Switching system:

-Number of switching contacts per switching system	1	More on request
-Switching contact	magnet contact tube	-
-Flow speed control element	hold by magnets	-
-Response time of speed control element	<0.1s	-

Response of switching system in case of:

-Gas accumulation	200 cm³ to 300 cm³	-
-------------------	--------------------	---

-Flow of insulation fluid

nominal diameter (DN) 25 mm	1.00 m/s±15%	-
nominal diameter (DN) 50 mm	1.00 m/s±15%	-
nominal diameter (DN) 80 mm	1.00 m/s±15% or 1.50 m/s±15% or 2.00 m/s±15%	-
Cable gland	M20x1.5	Others on request
Nominal insulation position	1° ascending towards expansion vessel	0° to 5°
Degree of protection	IP54	Others on request